

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
KATEDRA FYZICKÉ GEOGRAFIE A GEOEKOLOGIE



**ZMĚNY SRÁŽKOOTOKOVÝCH POMĚRŮ V POVODÍ
HORNÍ OPAVY**
**(Changes of rainfall-runoff conditions in the Upper Opava
River basin)**

Diplomová práce

Václav KRÁLOVEC

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Zdeněk KLIMENT, CSc.

PRAHA 2009

Autorské prohlášení:

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci vypracoval sám a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje a datové podklady.

Praha 30.7.2009

.....

podpis

Poděkování:

Děkuji panu RNDr. Zdeňku Klimentovi, CSc. za odbornou pomoc, užitečné a věcné připomínky a celkově korektní spolupráci při zpracování mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Mgr. Ondřeji Ledvinkovi za cenné rady a podnětné diskuse a v neposlední řadě také pracovníkům ČHMÚ a ZVHS za ochotný a vřelý přístup při poskytování primárních datových podkladů.

ABSTRACT

The rainfall-runoff process is a natural event affecting a landscape. There are many factors which make that process difficult to understand. The factors are closely connected and so we have to think about the wide-contexts between them.

This thesis pays attention to the variation of rainfall-runoff conditions in the Opava and Opavice river basin down to the gauging station Krnov. In the last 50 years there are observed partly the influences of climate oscillations and changes in the rainfall-runoff process and partly the potential human influence.

This thesis is also solving the question of testing the homogeneity of the time series. Some statistical tests, which were already used in other projects, were used for that. On the basis of time series analysis of rainfall, air temperature and snow cover is endeavoured to analyse the changes and to establish significant trends in each climate features. On the top of that there is made the analysis of land use changes and land drainage analysis, which is the complement of climate change analysis.

Key words: *Upper Opava river basin, rainfall-runoff process, homogeneity of the time series, climate change, trends in time series, human influence*

OBSAH

ABSTRACT	4
OBSAH	5
SEZNAM OBRÁZKŮ	7
SEZNAM TABULEK	9
1. ÚVOD A CÍLE PRÁCE	10
2. MATERIÁL A METODY	11
2.1 POUŽITÁ DATA A SOFTWARE	11
2.1.1 Digitální model reliéfu	11
2.1.2 Hydrologická a klimatická data	12
2.1.3 Data plošného odvodnění a krajinného pokryvu	13
2.2 ČASOVÉ ŘADY	13
2.2.1 Homogenita časových řad	16
2.2.2 Testování homogenity časových řad	17
2.2.3 Testy absolutní homogenity	18
2.2.4 Testy relativní homogenity	21
2.2.5 Doplnění chybějících dat	23
2.2.6 Orografická interpolace	24
2.2.7 Trendy a korelační závislosti v časových řadách	25
3. FYZIKOGEOGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA	28
3.1 VYMEZENÍ A ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ	28
3.2 GEOLOGIE	29
3.3 GEOMORFOLOGIE	30
3.4 PEDOLOGIE	32
3.5 HYDROGRAFIE	34
3.6 MORFOMETRIE	38
4. ODTOKOVÉ POMĚRY	42
4.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE O POVODÍCH	42
4.2 REŽIM DENNÍCH PRŮTOKŮ A MÍRA JEJICH ROZKOLÍSANOSTI	43
4.3 REŽIM MĚSÍČNÍCH A SEZÓNNÍCH PRŮTOKŮ	46
4.4 REŽIM ROČNÍCH PRŮTOKŮ	50
4.5 SHRNUTÍ ODTOKOVÝCH POMĚRŮ	52
5. KLIMATICKÉ POMĚRY	53
5.1 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA SRÁŽEK	53
5.1.1 Měsíční a sezónní rozložení srážek	54
5.1.2 Vývoj ročních výšek srážek	57
5.1.3 Shrnutí srážkových poměrů	58
5.2 TEPLOTNÍ POMĚRY	59
5.2.1 Měsíční a sezónní teplota vzduchu	60
5.2.2 Změny roční teploty vzduchu	64
5.2.3 Shrnutí teplotních poměrů	65
5.3 SNĚHOVÉ POMĚRY	66
5.3.1 Měsíční hodnocení výšky sněhové pokrývky	68
5.3.2 Změny v roční výšce sněhové pokrývky	70
5.3.3 Shrnutí sněhových poměrů	74
5.4 KOMPLEXNÍ HODNOCENÍ KLIMATICKÝCH PODMÍNEK A JEJICH VLIV NA ODTOK	74
5.4.1 Otázka globální změny klimatu a její působení na hydrologický systém	74
5.4.2 Vliv změny klimatických veličin na hydrologický režim v povodí Opavy	76

6. TESTOVÁNÍ HOMOGENITY ČASOVÝCH ŘAD	81
6.1 ABSOLUTNÍ HOMOGENITA	81
6.1.1 Měsíční řady	81
6.1.2 Sezónní a roční řady	84
6.2 RELATIVNÍ HOMOGENITA	85
6.2.1 Relativní homogenita průtoků	91
6.2.2 Relativní homogenita teplot	92
6.3 SHRNUÍ TESTOVÁNÍ HOMOGENITY	93
7. TRENDY A VZÁJEMNÉ VZTAHY V ČASOVÝCH ŘADÁCH.....	94
7.1 DETEKCE TRENDU.....	94
7.1.1 Dlouhodobé tendence ve srážkách a odtoku	94
7.1.2 Dlouhodobé tendence teploty vzduchu a sněhové pokrývky.....	96
7.2 VÝZNAMNÉ ZÁVISLOSTI MEZI ČASOVÝMI ŘADAMI	100
7.3 SHRNUÍ ANALÝZ TRENDU A KORELAČNÍCH ZÁVISLOSTÍ.....	104
8. HODNOCENÍ ANTROPOGENNÍHO OVlivNĚNÍ POVODÍ OPAVY	106
8.1 ZMĚNY VE VYUŽITÍ KRAJINY	106
8.2 UPRAVENOST ŘÍČNÍ SÍTĚ A PLOŠNÉ ODVODNĚNÍ	109
8.3 SHRNUÍ ANTROPOGENNÍHO OVlivNĚNÍ.....	112
9. DISKUSE A ZÁVĚRY.....	114
10. POUŽITÁ LITERATURA A ZDROJE	119
10.1 KNIŽNÍ PUBLIKACE	119
10.2 INTERNETOVÉ ZDROJE	123
10.3 MAPOVÉ A DATOVÉ PODKLADY	124

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 2.1: SCHEMATICKÁ PŘEDSTAVA NĚKTERÝCH TYPICKÝCH ZMĚN V ČASOVÝCH ŘADÁCH.....	15
OBR. 2.2: UKÁZKA STRUKTURNÍHO ZLOMU V ČASOVÉ ŘADĚ	15
OBR. 3.1: POLOHA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ.....	28
OBR. 3.2: GEOLOGICKÁ MAPA.....	30
OBR. 3.3: GEOMORFOLOGICKÉ ČLENĚNÍ	31
OBR. 3.4: MAPA PŮDNÍCH TYPŮ	33
OBR. 3.5: PODÉLNÝ PROFIL OPAVY A JEJÍCH PŘÍTOKŮ	34
OBR. 3.6: PODÉLNÝ PROFIL OPAVICE A JEJÍCH PŘÍTOKŮ.....	35
OBR. 3.7: ŘÍČNÍ SÍŤ	36
OBR. 3.8: HUSTOTA ŘÍČNÍ SÍTĚ.....	37
OBR. 3.9: VÝŠKOVÉ POMĚRY ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ	38
OBR. 3.10: ROZLOŽENÍ VÝŠKOVÝCH STUPŇŮ	39
OBR. 3.11: HYPSONOGRAFICKÁ KŘIVKA POVODÍ OPAVY.....	39
OBR. 3.12: HYPSONOGRAFICKÁ KŘIVKA POVODÍ OPAVICE	40
OBR. 3.13: SKLONITOSTNÍ POMĚRY.....	41
OBR. 3.14: EXPOZICE SVAHŮ	41
OBR. 4.1: PRŮMĚRNÉ DENNÍ PRŮTOKY NA OPAVĚ (1953-2005).....	43
OBR. 4.2: PRŮMĚRNÉ DENNÍ PRŮTOKY NA OPAVICI (1953-2005).....	44
OBR. 4.3: PRŮMĚRNÉ KŘIVKY PŘEKROČENÍ Q_d PRO OPAVU (MODRÁ) A OPAVICI (ČERVENÁ)	46
OBR. 4.4: DLOUHODOBÝ MĚSÍČNÍ PRŮTOK V POVODÍ OPAVY A OPAVICE (1953-2005)	47
OBR. 4.5: ROZLOŽENÍ ODTOKU V PRŮBĚHU ROKU (VLEVO – OPAVA, VPRAVO – OPAVICE).....	48
OBR. 4.6: ZMĚNY SEZÓNního ROZLOŽENÍ ODTOKU NA OPAVĚ (1953-2005).....	49
OBR. 4.7: ZMĚNY SEZÓNního ROZLOŽENÍ ODTOKU NA OPAVICI (1953-2005)	49
OBR. 4.8: PRŮMĚRNÝ ROČNÍ PRŮTOK (Q_r) NA OPAVĚ V OBDOBÍ 1953-2005	51
OBR. 4.9: PRŮMĚRNÝ ROČNÍ PRŮTOK (Q_r) NA OPAVICI V OBDOBÍ 1953-2005.....	51
OBR. 5.1: PRŮMĚRNÁ ROČNÍ VÝŠKA SRÁŽEK (1962-2006).....	53
OBR. 5.2: DLOUHODOBÁ MĚSÍČNÍ VÝŠKA SRÁŽEK (1962-2006).....	54
OBR. 5.3: ROZLOŽENÍ SRÁŽEK BĚHEM ROKU (VLEVO – OPAVA, VPRAVO – OPAVICE).....	55
OBR. 5.4: ZMĚNY V SEZÓNním ROZLOŽENÍ SRÁŽEK NA POVODÍ OPAVY (1962-2006).....	56
OBR. 5.5: ZMĚNY V SEZÓNním ROZLOŽENÍ SRÁŽEK NA POVODÍ OPAVICE (1962-2006)	56
OBR. 5.6: TENDENCE H_t NA OPAVĚ V OBDOBÍ 1962-2006.....	57
OBR. 5.7: TENDENCE H_t NA OPAVICI V OBDOBÍ 1962-2006	58
OBR. 5.8: PRŮMĚRNÁ ROČNÍ TEPLOTA VZDUCHU (1962-2006)	60
OBR. 5.9: PRŮMĚRNÁ MĚSÍČNÍ VÝŠKA TEPLoty (T_{ma}) NA OPAVĚ A OPAVICI (1962-2006)	61
OBR. 5.10: VÝVOJ TEPLoty VZDUCHU V CHLADNÉM PŮLROCE (1962-2006).....	62
OBR. 5.11: VÝVOJ TEPLoty VZDUCHU V TEPLÉM PŮLROCE (1962-2006).....	63
OBR. 5.12: VÝVOJ T_{ra} A T_{rez} V POVODÍ OPAVY A OPAVICE (1962-2006)	65
OBR. 5.13: PRŮMĚRNÁ ROČNÍ VÝŠKA SNĚHOVÉ POKRÝVKY (1962-2006).....	67
OBR. 5.14: PRŮMĚRNÝ ROČNÍ POČET DNÍ SE SNĚHOVOU POKRÝVKOU (1962-2006).....	68
OBR. 5.15: ROČNÍ CHOD VÝŠKY SNĚHOVÉ POKRÝVKY A POČTU DNÍ SE SNĚHOVOU POKRÝVKOU V POVODÍ (1962-2006)	69
OBR. 5.16: ROZLOŽENÍ S_m BĚHEM ROKU V POVODÍ OPAVY (VLEVO) A OPAVICE (VPRAVO).....	70
OBR. 5.17: VÝVOJ S_v V POVODÍ OPAVY (1962-2006)	71
OBR. 5.18: VÝVOJ S_r V POVODÍ OPAVICE (1962-2006)	71
OBR. 5.19: ZMĚNY V DÉLCE TRVÁNÍ SNĚHOVÉ POKRÝVKY VE VYBRANÝCH KLIMATOLOGICKÝCH STANICÍCH (1962-2006).....	73
OBR. 5.20: SEZÓNní VÝŠKY KLIMATICKÝCH PRVKŮ V POVODÍ OPAVY (1962-2006)	77
OBR. 5.21: SEZÓNní VÝŠKY KLIMATICKÝCH PRVKŮ V POVODÍ OPAVICE (1962-2006).....	77
OBR. 5.22: KOMPLEXNÍ ZHODNOCENÍ HYDROKLIMATICKÝCH PODMÍNEK V POVODÍ OPAVY (1962-2006)	79
OBR. 5.23: KOMPLEXNÍ ZHODNOCENÍ HYDROKLIMATICKÝCH PODMÍNEK V POVODÍ OPAVICE (1962-2006)	80
OBR. 6.1: JEDNODUCHÉ SOUČTOVÉ ČÁRY PRŮTOKŮ PRO POVODÍ OPAVY.....	82
OBR. 6.2: JEDNODUCHÉ SOUČTOVÉ ČÁRY PRŮTOKŮ PRO POVODÍ OPAVICE.....	83
OBR. 6.3: JEDNODUCHÉ SOUČTOVÉ ČÁRY Q_r NA OPAVĚ A OPAVICI	85
OBR. 6.4: PODVOJNÁ SOUČTOVÁ ČÁRA Q_r A H_{ref} NA OPAVICI (1962-2006).....	92
OBR. 6.5: PODVOJNÁ SOUČTOVÁ ČÁRA Q_{10} A H_{10} NA OPAVICI (1962-2006).....	92
OBR. 7.1: DLOUHODOBÝ TREND ROČNÍHO ÚHRNU SRÁŽEK V JEDNOTLIVÝCH STANICÍCH (1962-2006).....	95

OBR. 7.2: NEJVÝZNAMNĚJŠÍ ZÁVISLOSTNÍ VZTAHY V POVODÍ OPAVY (HORNÍ POLOVINA) A OPAVICE (SPODNÍ POLOVINA) MEZI HYDROKLIMATICKÝMI PRVKY	102
OBR. 7.3: NEJVÝZNAMNĚJŠÍ ZÁVISLOSTNÍ VZTAHY MEZI HYDROKLIMATICKÝMI PRVKY NA STANICÍCH PRADĚD (VLEVO) A MĚSTO ALBRECHTICE-ŽÁRY (VPRAVO)	103
OBR. 7.4: NEJVÝZNAMNĚJŠÍ ZÁVISLOSTNÍ VZTAHY MEZI KLIMATICKÝMI PRVKY NA STANICI ČERVENÁ.....	103
OBR. 8.1: VYUŽITÍ KRAJINY V POVODÍ OPAVY A OPAVICE V ROCE 2000	107
OBR. 8.2: ZMĚNY V PLOŠNÉM ROZLOŽENÍ KRAJINNÉHO POKRYVU (1990-2000)	109
OBR. 8.3: PODÍL ODVODNĚNÝCH PLOCH V POVODÍ OPAVY A OPAVICE (1950-1994)	111
OBR. 8.4: ČASOVÝ VÝVOJ PLOŠNÉHO ODVODNĚNÍ V POVODÍ OPAVY A OPAVICE (1950-1994).....	112

SEZNAM TABULEK

TAB. 3.1: ZÁKLADNÍ HYDROGRAFICKÉ CHARAKTERISTIKY POVODÍ	37
TAB. 3.2: PROCENTUELNÍ ZASTOUPENÍ ORIENTACÍ SVAHŮ	41
TAB. 4.1: PŘEHLED DLOUHODOBÝCH ODTOKOVÝCH CHARAKTERISTIK (1962 – 2005).....	42
TAB. 4.2: STATISTICKÉ MÍRY VARIABILITY Q_d	45
TAB. 4.3: M-DENNÍ PRŮTOKY (Q_{md}) V POVODÍ OPAVY A OPAVICE (1953-2005)	46
TAB. 5.1: TEPLOTNÍ CHARAKTERISTIKY VYBRANÝCH KLIMATOLOGICKÝCH STANIC (1962-2006)	61
TAB. 5.2: TREND OTEPLOVÁNÍ NA VYBRANÝCH STANICÍCH V OBDOBÍ 1962-2006	64
TAB. 6.1: HOMOGENITA PRŮTOKOVÝCH A SRÁŽKOVÝCH ŘAD V OBDOBÍ 1962-2006, RESP. 1953-2006 V POVODÍ OPAVY	86
TAB. 6.2: HOMOGENITA PRŮTOKOVÝCH A SRÁŽKOVÝCH ŘAD V OBDOBÍ 1962-2006, RESP. 1953-2006 V POVODÍ OPAVICE	87
TAB. 6.3: HOMOGENITA TEPLOTNÍCH A SNĚHOVÝCH ŘAD VE STANICÍCH ČERVENÁ, KRNOV A OPAVA (1962-2006)	88
TAB. 6.4: HOMOGENITA TEPLOTNÍCH A SNĚHOVÝCH ŘAD VE STANICÍCH SVĚTLÁ HORA, MĚSTO ALBRECHTICE-ŽÁRY, PRADĚD (1962-2006, RESP.1997)	89
TAB. 6.5: RELATIVNÍ HOMOGENITA TEPLOTNÍCH ŘAD VE STANICÍCH ČERVENÁ, MĚSTO ALBRECHTICE-ŽÁRY A KRNOV (1962-2006).....	90
TAB. 7.1: DLOUHODOBÉ TENDENCE VE SRÁŽKÁCH A ODTOKU V POVODÍ OPAVY A OPAVICE (1962-2006).....	97
TAB. 7.2: DLOUHODOBÉ TENDENCE V TEPLOTĚ VZDUCHU A SNĚHOVÉ POKRÝVCE NA STANICÍCH ČERVENÁ, KRNOV A OPAVA (1962-2006)	98
TAB. 7.3: DLOUHODOBÉ TENDENCE V TEPLOTĚ VZDUCHU A SNĚHOVÉ POKRÝVCE NA STANICÍCH SVĚTLÁ HORA, MĚSTO ALBRECHTICE-ŽÁRY A PRADĚD	99
TAB. 8.1: KOEFICIENTY EKOLOGICKÉ STABILITY A ANTROPOGENNÍHO OVLIVNĚNÍ.....	108
TAB. 8.2: STUPEŇ UPRAVENOSTI ŘÍČNÍ SÍTĚ A ROZSAH PLOŠNÉHO ODVODNĚNÍ V POVODÍ OPAVY A OPAVICE (1950-1994)	111

1. ÚVOD A CÍLE PRÁCE

Srážkoodtokový proces je přirozenou a nedílnou součástí našeho bytí. Nikdo se nepozastavuje nad tím, že prší, nikdo se nediví, proč v korytech řek teče voda. Všichni to berou jako samozřejmost. Jen málokdo však tuší, kolik vzájemných příčinných vztahů a souvislostí se v tomto dynamickém systému skrývá. A to ještě nikdo nemluví o těch nepochopených a nevysvětlených.

Jedním z primárních rysů dynamického systému je jeho nestacionarita. Systém se proto neustále s časem vyvíjí a mění a tyto změny lákají novodobé hydrology a klimatology k objasňování. V současnosti existují dva základní přístupy k problematice zjišťování změn ve srážkoodtokových vztazích. Prvním z nich je dynamicky se rozvíjející hydrologické modelování srážkoodtokových procesů, jehož rozmach je podmíněn stále novými a dokonalejšími počítačovými a informačními technologiemi. Modelování s sebou přináší nové možnosti k uspokojení potřeb společnosti užívat vodu jako zdroj své obživy a zároveň vyvíjet účinnou ochranu před jejími negativními vlivy. Druhý přístup využívá k objasnění příčin srážkoodtokových změn metod statistické analýzy. Jeho hlavní doménou je především detekce náhlých anomálií, případně dlouhodobých trendů v časových řadách, které napomáhají vyslovit hypotézy o budoucím vývoji.

Hlavním cílem této práce je sledovat a pokusit se objasnit příčiny změn ve vývoji srážkoodtokových vztahů v kontextu probíhající změny klimatu a vlivu člověka v modelových povodích Opavy, ohraničeném limnigrafickou stanicí Krnov, a Opavice. Na základě rozboru časových řad jsou podrobně popsány hydroklimatické vztahy za poslední necelé půlstoletí. Jsou v nich stopovány náhlé zlomy či dlouhodobé trendy, které mohou být způsobeny ať už klimaticky nebo antropogenně. Je snahou určit klíčové faktory, které mohou změněné podmínky zapříčiňovat.

V tematicky podobném duchu byly v posledních několika letech zpracovány studie na dalších povodích České republiky. Kliment a Matoušková (2005, 2007, 2009) se dlouhodobě zabývají detekcí změn v pramenné oblasti řeky Otavy na Šumavě. Ledvinka (2006, 2008) svůj výzkum naopak spojil s povodím Rolavy v Krušných horách. V závěru je tedy diskutována i otázka srovnání jednotlivých povodí mezi sebou a na základě toho je možné si vytvořit schematickou představu o změnách panujících napříč Českou republikou.

2. MATERIÁL A METODY

2.1 Použitá data a software

2.1.1 *Digitální model reliéfu*

K výpočtu plošných a morfometrických charakteristik povodí bylo zapotřebí zkonstruovat digitální model reliéfu (DMR). Vzhledem k tomu, že povodí horní Opavy zasahuje až na území Polska, byl pro vytvoření DMR zvolen vrstevnicový digitální model DMU25 poskytovaný Vojenským geografickým a hydrometeorologickým úřadem v Dobrušce ve vertikálním kroku 5m. Tento digitální model byl vytvořen digitalizací vojenských topografických map v měřítku 1:25 000 a jeho výhodou je, že svým rozsahem překračuje státní hranici České republiky a obsahuje i příhraniční oblasti sousedních států. (Geografická služba AČR)

Výsledný hydrologicky korektní model byl zpracován v prostředí softwaru ArcGIS 9.2, jmenovitě nástrojem Topo To Raster obsaženým v extenzi 3D Analyst. Tato funkce vytváří hydrologicky hladký povrch (neobsahuje žádné bezodtokové oblasti), kdy veškerá voda odtéká do jednoho nebo více závěrových bodů. Pro zpřesnění vypočteného DMR byla kromě vrstevnicového digitálního modelu upotřebena jako vstupní data i vrstva vodních toků a vodních ploch ze zdigitalizované Základní vodohospodářské mapy v měřítku 1:50 000. Prostorové rozlišení DMR bylo 100m. Nově vytvořený digitální model byl následně použit při morfometrických analýzách v povodí.

Kromě toho byl DMR zapotřebí také při výpočtu plošných charakteristik uvažovaných klimatických prvků (srážky, teplota vzduchu, sněhová pokrývka) metodou orografické interpolace. Pro tento účel byl však z hlediska jednotnosti metodického postupu s dalšími pracemi týkajícími se sledování trendů srážkoodtokových vztahů aplikován digitální model reliéfu ČR poskytovaný firmou Arcdata Praha s prostorovým rozlišením 75m. Ten je k dispozici zdarma ke stažení přímo z webových stránek poskytovatele. (ARCDATA Praha) Digitální model byl následně zhlazen funkcí Aggregate (extenze Spatial Analyst v ArcGIS) a vstupoval v konečném prostorovém rozlišení 750m do výpočtu plošných charakteristik.

Všechny operace spojené s tvorbou DMR a morfometrických charakteristik byly vypočteny s použitím softwaru ArcGIS 9.2 a jeho extenzí (3D Analyst, Spatial Analyst). Veškeré práce v prostředí GIS byly prováděny v místním souřadnicovém systému S-JTSK a v baltském výškovém systému po vyrovnání.

2.1.2 Hydrologická a klimatická data

Při hodnocení odtokových poměrů v povodí byly použity časové řady průměrných denních průtoků z limnigrafických stanic Opava-Krnov (ID 2630) a Opavice-Krnov (ID 2650) od počátku měření do roku 2005. Data pro analýzy srážek (průměrné měsíční úhrny v období 1961-2006) byla získána ze 24 klimatologických a srážkoměrných stanic ležících v povodí a jeho blízkém okolí. Pro analýzy teplotních a sněhových poměrů byly poskytnuty řady průměrných měsíčních teplot vzduchu a denní hodnoty výšky sněhové pokrývky ze šesti vybraných klimatologických stanic pro období 1961-2006. Určitě je chybou, že se nepodařilo získat také data o sněhové pokrývce z okolních srážkoměrných stanic, s jejichž pomocí by se výsledky analýz sněhových poměrů v povodí určitě zpřesnily. Veškerá hydrologická a klimatická data poskytl Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) v Praze.

Jednotlivé statistické analýzy byly prováděny v programech MS Excel 2003 a SPSS 13.0. Statistické testování homogenity časových řad probíhalo jednak opět v softwaru SPSS 13.0 a pak také ve freewaru AnClim pro hodnocení klimatických řad, vyvinutým Petrem Štěpánkem z ČHMÚ v Brně. Tento freeware je volně stažitelný na webových stránkách autora. (Štěpánek 2003)

Výpočet prostorových analýz klimatických prvků byl realizován metodou orografické interpolace prostřednictvím extenze softwaru ArcView 3.2. (Šercl, Lett 2004) V některých případech bylo k získání plošných hodnot sledovaných veličin nutné použít také nástroj Zonal Statistics softwaru ArcGIS 9.2 (extenze Spatial Analyst). V neposlední řadě je třeba uvést také použití programu MULTMK/PARTMK vytvořeného pro MS Excel v programovacím jazyce Visual Basic k výpočtu neparametrického Mann-Kendalova testu. Toto makro vytvořené Andersem Grimvallem a dále rozvinuté Claudií Libiseller z univerzity v Linköpingu bylo volně ke stažení na internetu. (Grimvall, Libiseller 2003)

2.1.3 Data plošného odvodnění a krajinného pokryvu

Doplňkové výpočty a analýzy možného antropogenního vlivu na odtokový proces byly provedeny za použití dat o krajinném pokryvu z databáze Corine Land Cover ve dvou časových horizontech (1990 a 2000). Tato data shromažďuje od jednotlivých regionálních institucí Evropská agentura pro životní prostředí (EEA). Z oficiálních webových stránek EEA byly staženy aktuální shapefilové vrstvy pro rok 2000, s nimiž bylo dále pracováno. Vlastníkem databáze Corine Land Cover pro Českou republiku je Ministerstvo životního prostředí (MŽP). Od něj byly získány starší vrstvy pro rok 1990.

Antropogenní transformace říční sítě a vývoj plošného odvodnění pozemků byly zpracovány s využitím digitalizovaných zákresů ploch odvodnění v Základních mapách v měřítku 1:10 000. Tato data byla pro účely diplomové práce poskytnuta pracovníky Úseku pro informatiku a systémy řízení Ústředí Zemědělské vodohospodářské správy (ZVHS) v Brně. ZVHS však disponuje daty se stavem odvodnění pouze do roku 1994, po tomto roce již další informace k dispozici nejsou.

2.2 Časové řady

Časová řada je datový soubor, všeobecně se jedná o náhodný výběr s rozsahem n ($i=1, \dots, n$), jehož numerické hodnoty se po řadě vztahují k diskrétní době t_i . Předpokládá se tedy, že se hodnoty nevyskytují kontinuálně, ale diskrétně, resp. v konečných časových vzdálenostech (intervalech). Obecně je používán konstantní časový krok $\Delta t = t_{i+1} - t_i$ (ekvidistantní data časových řad).

Tím má časová řada matematickou formu:

$$a_i(t_i); t_{i+1} - t_i = \Delta t = konst.; \quad i = 1, \dots, n;$$

Vědní disciplína, která se zabývá matematicko-statistickými analýzami časových řad a předpověďmi (trendy) jejich budoucího vývoje, se nazývá analýza časových řad. Je speciální formou regresní analýzy a klade si mj. následující cíle:

- prognóza budoucích hodnot a vývoje časové řady na základě znalosti jejích dosavadních záznamů
- rozpoznání změn v časových řadách

- eliminace sezónních závislostí nebo trendů v časových řadách, aby se daly spolehlivě odhadnout jednoduché parametry, např. střední hodnoty
- popis historických časových řad (Schlittgen, Streitberg 2001)

V geovědách se časové řady vyskytují velmi často a v rozmanitých tvarech. Pro jejich následný rozbor je třeba si všimnout několika důležitých charakteristik, které lze z časové řady principiálně vypožorovat. Obvykle jsou sledovány především typické časové odchylky (změny). V zásadě se přitom dají rozlišovat necyklické a cyklické změny.

K necyklickým změnám patří např. **lineární** nebo **nelineární trend**. Vyjadřuje dlouhodobou tendenci vývoje časové řady a odpovídá korelační a regresní analýze uvažované veličiny v závislosti na čase. Vychází se přitom ze dvoudimenzionální lineární, resp. nelineární regrese a nezávislá proměnná b je nahrazena časem t . U nelineárního trendu je třeba dbát na to, aby se, podle definice, nevyskytovala v průběhu řady žádná relativní maxima a minima (Obr. 2.1). Příležitostně je pro tento způsob časové variability užíván také pojem „**transientní**“ (neustálý). (Schönwiese 2006)

Cyklické změny naopak ve více či méně pravidelných časových intervalech vykazují relativní maxima a minima. Jsou-li nejen tyto vzdálenosti (periody T), ale také amplitudy přesně konstantní, jedná se o **periodické změny**. Tak platí, že

- periodické $a_i(t_i) = a_i(t_i + T)$;
- cyklické $a_i(t_i) \approx a_i(t_i + \bar{T})$;

přičemž pouze v cyklickém a neperiodickém případě (příležitostně označováno jako rytmický) může být uváděna jen průměrná perioda \bar{T} .

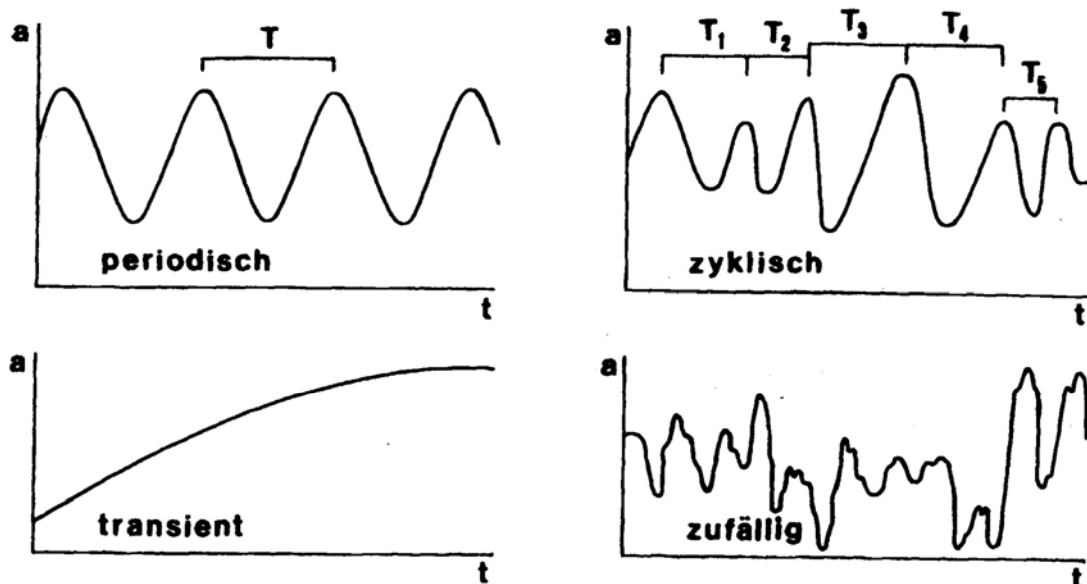
V transientním případě naproti tomu platí, že

- transientní $a_{i+1}(t_{i+1}) > nebo < a_i(t_i)$;

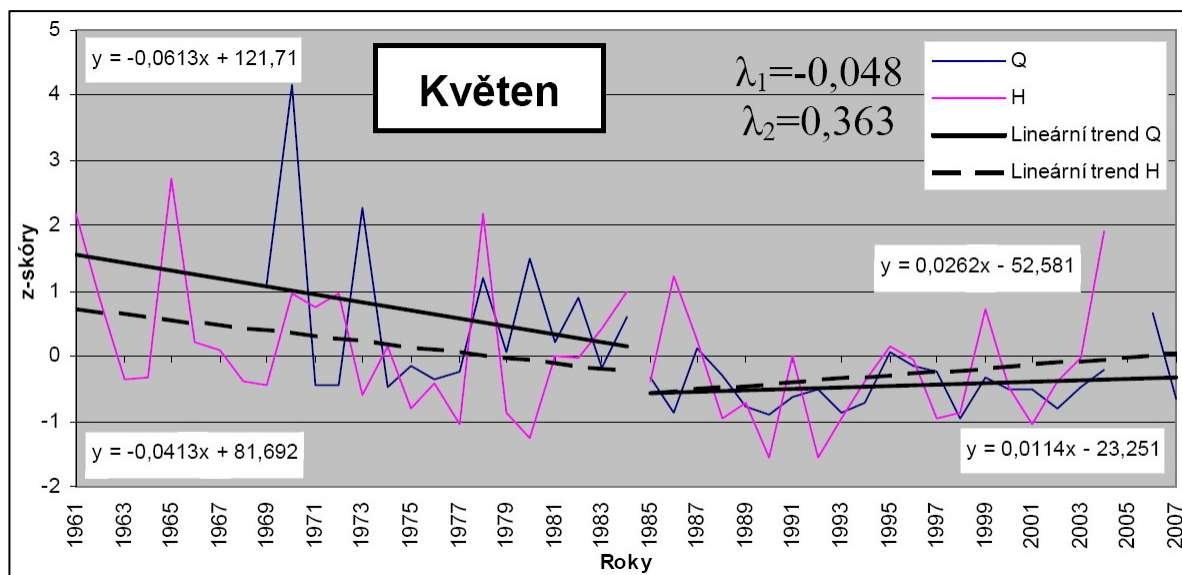
Příklady pouze cyklických odchylek časových řad jsou např. denní a roční chod meteorologických veličin nebo cyklus slunečních skvrn (s periodou mezi cca 7 – 15 lety a zřetelně se měnící amplitudou).

Ke změnám v časových řadách však nemusí docházet jen v pravidelných časových intervalech. U stochasticky (náhodně) proměnlivých záznamů časové řady se objevují relativní maxima a minima, stejně jako příslušné amplitudy, zcela

nepravidelně. Při analýzách časových řad se mluví o náhodných šumech (často extrémní a odlehlé hodnoty nebo strukturní zlomy), jejichž náhodné vlastnosti mohou být vysvětleny historickými událostmi (Obr. 2.2), nebo náhodných kolísáních, jejichž příčiny nelze podrobně identifikovat. (Schönwiese 2006)



Obr. 2.1: Schematická představa některých typických změn v časových řadách
(Zdroj: Schönwiese, 2006)



Obr. 2.2: Ukázka strukturního zlomu v časové řadě
(Zdroj: Ledvinka, 2008)

2.2.1 Homogenita časových řad

V celé řadě vědních disciplín (přírodní vědy nejsou výjimkou) bývají zpracovávány dlouhodobé časové řady určitého sledovaného jevu. Aby byly analýzy založené na takovýchto řadách smysluplné, je nutné, aby zkoumané řady byly tzv. homogenní. Z pohledu klimatologie, která nás v našem případě nejvíce zajímá, to znamená, aby jejich kolísání bylo způsobeno pouze kolísáním počasí a podnebí. Bohužel většina časových řad atmosférických dat s rozlišením desetiletí až století obsahuje různé nehomogenity. Podle Auerové et al. (2001, sec. Štěpánek 2004) nepřesahuje typická délka homogenního úseku 30 až 40 let. Čím je řada delší, tím samozřejmě roste pravděpodobnost výskytu nehomogenit v této řadě. (Štěpánek 2004).

Příčiny nehomogenit v časových řadách mohou být velmi rozdílné. V klimatologii představují častou překážku v analýze časových řad systematické chyby zatěžující naměřená data. Mezi ně patří např.:

- výměna používaného měřicího přístroje nebo jeho obsluhy (pozorovatele)
- změna přírodních podmínek v okolí měřicí stanice (nová zástavba, stromový porost)
- změna pozorovacích praktik (rozdílné pozorovací časy, změna ve výpočetním vzorci)
- přemístění měřicího objektu

Typickým projevem nehomogenit v časových řadách jsou náhlé „zlomy“ (v angl. lit. „breaks nebo shifts“; v něm. lit. se uvádí „Sprünge“), tzn. nenadále vyvolané nestacionarity střední hodnoty (např. při přemístění stanice) nebo náhlé změny rozptylu (např. nový měřicí aparát vykazuje větší citlivost než předcházející). Kromě toho mohou být nehomogenity vyjádřeny dlouhodobými postupnými trendy, které způsobují např. měnící se podmínky v okolí měřicí stanice (rozšíření zastavěných ploch, růst okolních stromů a snižování efektivity měření klimatologických stanic).

Samozřejmě je nejlepší, když jsou takovéto zásahy dokumentovány a jejich účinky na časové řady známy. Poté lze dané nepřesnosti jednoduše přepočítat a opravit (např. užitím lineární nebo nelineární regrese). Problém však nastává, když jsou dostupná metadata o stanicích nepřesná nebo zcela chybí. V tom případě je třeba k nalezení nehomogenit použít nepřímé metody, přičemž nepřímé odhalení

„zlomů“ je mnohem snazší než objevení relativně dlouhodobých trendů. Obecně je situace problematičtější, když je časová struktura účinku nehomogenity podobná jako skutečně existující klimatická odchylka (např. při vlivu urbanizace a zároveň působícím dlouhodobém trendu vzestupu teploty vzduchu vyvolaném klimatickou změnou). Tím může být účinek nehomogenity překryt „přirozenou“ variabilitou prostředí. (Schönwiese 2006)

2.2.2 Testování homogenity časových řad

V minulých letech bylo věnováno značné úsilí vyvinutí, případně zdokonalení, technik pro identifikaci neklimatických změn (nehomogenit) v časových řadách. Nejčastěji používaným nástrojem jsou statistické testy, které dělíme na parametrické a neparametrické. **Parametrické testy** jsou spojené s předpokladem o typu rozdělení, které by měl mít základní soubor. Většinou předpokládáme rozdělení normální. Jsou silnější a poskytují více kvantitativních informací. Řešení **neparametrických testů** naopak nezávisí na typu rozdělení základního souboru. Lze je tak využít i pro silně nenormální rozdělení, kdy parametrické testy selhávají. Další výhodou je i to, že řada z nich je schopna testovat nejen rozdělení číselných hodnot znaků (jako parametrické), ale i rozdělení hodnot slovních znaků, především ordinálních, tj. rozlišujících dle relací větší-menší, lepší-horší (pořadové testy). Kromě toho jsou některé upotřebitelné i pro hodnocení nominálních znaků, tj. zařazujících jen do skupin (znaménkový test). Nevýhodou neparametrických testů naopak je, že mají menší sílu než parametrické testy (tzn. menší pravděpodobnost, že odhalí situaci, kdy nulová hypotéza neplatí). Pro dosažení stejné síly je třeba použít větší počet naměřených hodnot, než by byl nutný při parametrickém testu.

Kromě typu rozdělení statistického souboru je třeba brát v úvahu také jiné hledisko. Podle počtu uvažovaných časových řad se rozlišují testy absolutní a relativní homogenity. **Testování absolutní homogenity** má nepřímou odhalit nehomogenity jen při uvážení jedné datové řady. Rozšířenější metodou jsou ale **testy relativní homogenity**, kdy porovnáváme hodnoty testované řady s hodnotami řady referenční (se zajištěnou homogenitou). O relativní homogenitě s ohledem na jinou řadu (homogenní) se hovoří tehdy, jestliže difference (např. u teplot vzduchu) popř. podíly (např. u srážek) odpovídajících si dvojic hodnot tvoří řadu náhodných čísel, která vyhovuje zákonu chyb. (Štěpánek 2004)

V následující kapitole je uveden přehled vybraných testů, které byly aplikovány na časové řady (měsíční, sezónní a roční) klimatických a hydrologických prvků v této studii. Přesná detekce nehomogeních roků v časových řadách je značně problematická a výsledky statistických testů většinou nedovolují dělat jednoznačné závěry o nalezených nehomogenitách. Proto zde bylo vybráno více různých testů, neboť čím častěji se detekce dané nehomogenity shoduje v jednotlivých testováních, tím ji lze považovat za závažnější. (Štěpánek 2004)

2.2.3 Testy absolutní homogenity

Pro testování srážkových úhrnů je doporučována **metoda von Neumanna**. (Reinhartová 1989, sec. Kaňok 1997) Její princip spočívá v hodnocení rozdílů mezi dvěma následujícími naměřenými hodnotami. Testovací kritérium N (jinak nazýváno také Neumannův poměr) se vypočítá podle vztahu

$$N = \frac{\sum_{t=1}^n (x_t - x_{t+1})^2}{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2}$$

kde $x_t - x_{t+1}$ je rozdíl mezi dvěma po sobě následujícími hodnotami a \bar{x} výběrový aritmetický průměr. Pro soubory o velkém rozsahu ($n \geq 20$) má N normální rozdělení se směrodatnou odchylkou σ_N . V případě, že vypočtená hodnota N leží uvnitř intervalu $2 \pm u(\alpha) \cdot \sigma_N$, lze řadu na zvolené hladině významnosti α pokládat za homogenní.

Metoda von Neumanna nám však pranic neříká o bodu změny (change point), kdy k uvažované nestacionaritě v časové řadě došlo. K tomu slouží neparametrický **Pettittův test** (někdy uváděný jako Pettitt-Mann-Whitney test) vyvinutý Pettitem (1979, sec. Ma 2008). Tento přístup detekuje signifikantní změnu ve střední hodnotě¹ časové řady, kdy je přesný čas změny neznámý. Test je spíše než na samotných hodnotách založen na pořadí prvků řady a proto je méně citlivější k odlehlým hodnotám.

Uvažujme časovou řadu reprezentovanou dvěma výběry x_1, \dots, x_t a x_{t+1}, \dots, x_N ze základního souboru. Nechť je N délka časové řady a t rok pravděpodobné změny. Poté je testovací statistika pro jakékoliv t definována jako

¹ Může se jednat jak o průměr, jak uvádí Ma et al. (2008), tak o medián (Kundzewicz, Robson 2004).

$$U_t = \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^N \text{sgn}(X_i - X_j)$$

a určuje se v každém bodě časové řady. Maximální hodnota (K_T) testovací statistiky označuje pravděpodobný bod změny.

$$K_T = \max_{1 \leq t \leq T} |U_t|$$

Nulová hypotéza H_0 předpokládá absenci bodu změny. Zda ji přijmout nebo zamítnout se rozhodne podle vypočtené pravděpodobnosti p (viz např. Basistha et al. 2009). Jestliže je p menší než zvolená hladina významnosti, pak existuje signifikantní bod změny a časová řada je rozdělena na dvě části v místě bodu změny t . Pettittův test aplikovali na srážkové nebo průtokové časové řady mj. Ma et al. (2008), Ledvinka (2008) nebo Basistha et al. (2009).

Pro posuzování homogenity časových řad průtoků navrhuji Kaňok (1997) a Salas (1993) použít **dvouvýběrový Wilcoxonův test** (někdy též nazývaný **Wilcoxonův test pro dva nezávislé výběry** nebo **Mann-Whitney test**). Opět zde testujeme přítomnost dělicího rozhraní v časové řadě. Předpokládejme, že existují dva nezávislé výběry X_1, \dots, X_m a Y_1, \dots, Y_n ze dvou spojitých rozdělení. Chceme testovat hypotézu H_0 , že distribuční funkce obou rozdělení jsou totožné.

Při výpočtu testovací statistiky postupujeme tak, že seřadíme všechny údaje společně podle velikosti a označíme, k jakému výběru patří. Určíme jejich pořadí. Pokud jsou údaje shodné, budou shodná i pořadí. Za pořadí pak ale bereme průměr z pořadí následných shodných měření. Zjistíme součet pořadí hodnot řady X a Y a označíme je T_1 a T_2 . Hodnoty dosadíme do vzorců pro výpočet testovacích kritérií U_1 a U_2

$$U_1 = mn + \frac{m(m+1)}{2} - T_1 \qquad U_2 = mn + \frac{n(n+1)}{2} - T_2$$

kde m a n jsou počty členů řady X , resp. Y .

Pokud je minimální hodnota (U_1, U_2) menší nebo rovna tabelované kritické hodnotě na dané hladině významnosti, zamítneme testovanou hypotézu. (Anděl 1985, 1998) V realitě to znamená, že distribuční funkce nejsou totožné a časová řada Y je ovlivněna.

Jsou-li hodnoty m a n dostatečně velké², můžeme pro testování použít normovanou veličinu U_0

$$U_0 = \frac{U_1 - \frac{1}{2}mn}{\sqrt{\frac{mn}{12}(m+n+1)}}$$

Jestliže je absolutní hodnota testovací statistiky U_0 větší než $u(\alpha/2)$, kde $u(\alpha/2)$ je kritická hodnota standardizovaného normálního rozdělení, hypotézu H_0 zamítáme. (Anděl 1985, 1998)

V případě existence podezření, že se časová řada rozpadá vlivem nehomogenit na tři a více časových subřad s různými statistickými charakteristikami, je vhodné použít **Kruskal-Wallisův test**. Test je neparametrickou obdobou analýzy rozptylu jednoduchého třídění a je zobecněním dvouvýběrového Wilcoxonova testu. Bývá používán tehdy, jde-li o výběry z rozdělení značně se lišícího od normálního. (Anděl 1985)

Testuje se nulová hypotéza, že všechny výběry pocházejí z téhož rozdělení. Předpokládá se, že výběry jsou nezávislé. Podobně jako u Wilcoxonova testu se všechny prvky časové řady seřadí vzestupně a každému prvku se přidělí pořadí. Součty pořadí prvků, které patří do i -tého ($i = 1, \dots, k$) výběru, označíme T_i . Testovací kritérium Q vypočteme podle

$$Q = \frac{12}{n(n+1)} \cdot \sum \frac{T_i^2}{n_i} - 3(n+1)$$

kde n je celkový počet prvků řady.

Pro velká n má statistika Q za platnosti nulové hypotézy přibližně χ^2 rozdělení. Proto hypotézu H_0 zamítáme, když platí, že Q je větší než příslušná tabelovaná kritická hodnota χ^2 rozdělení s $i-1$ stupni volnosti. (Hendl 2004)

Zamítneme-li hypotézu, znamená to, že tvrdíme, že všechny výběry nepocházejí z téhož rozdělení. Vznášíme tím pak obvykle dotaz, které výběry se od sebe významně liší (tj. které pocházejí z různých rozdělení). Pro zodpovězení této otázky autor odkazuje na příslušnou literaturu (viz Anděl 1985, 1998; Kaňok 1997).

Posledním aplikovaným testem absolutní homogenity byl parametrický **SNHT** (standard normal homogeneity test), vyvinutý Alexanderssonem (1984, 1986, sec.

² Anděl (1998) uvádí, že se tato veličina dá aplikovat při $m > 10$, $n > 10$; Hendl (2004) v podstatě potvrzuje předchozí tvrzení, kdy je třeba splnit $m + n > 20$; Zvára (2000) je v tomto mírnější, stačí když $m + n \geq 12$.

Alexandersson, Moberg 1997). Původně byl aplikován na srážková data, ale úspěšně byl vyzkoušen také na teplotních časových řadách. (Štěpánek 2004)

Předpokladem testu je normální rozdělení $N(0,1)$, proto je třeba na něj uvažovanou veličinu transformovat. Test opět sonduje náhlou změnu v průměru časové řady. Vycházíme z nulové hypotézy, která popírá výskyt bodu změny. Alternativní hypotéza H_1 naopak říká, že se v nějakém neznámém čase průměrná hodnota časové řady náhle mění. Vypočteme testovací statistiku

$$T = \max \left\{ a\bar{z}_1^{-2} + (n-a)\bar{z}_2^{-2} \right\} \quad 1 \leq a \leq n-1$$

kde \bar{z}_1 a \bar{z}_2 jsou aritmetické průměry řad z_i před a po změně. Hodnota a odpovídá maximu, tj. nejpravděpodobnějšímu roku změny nebo přesněji poslednímu roku staré řady s průměrem \bar{z}_1 . Jestliže je T_{max} větší než definovaná kritická mez, řekneme, že můžeme nulovou hypotézu homogenity zamítnout na odpovídající hladině významnosti. Více ke kritickým tabelovaným hodnotám pro SNHT nalezneme v Khaliq a Ouarda (2007).

Podle Alexanderssona a Moberga (1997) není test vhodný pro časové řady s více zlomy. Alternativou však je použít SNHT pro jednoduchý zlom na dvě a více po sobě jdoucích částí komplikované řady.

2.2.4 Testy relativní homogenity

Jak již bylo řečeno výše, testováním relativní homogenity se rozumí statistické metody srovnávající časovou řadu pochybné homogenity s jednou nebo více časovými řadami zajištěné homogenity. Pro svoji jednoduchost a snadnou aplikovatelnost je jedním z nejpoužívanějších testů ve světě **Alexanderssonův test homogenity pro jednoduchý zlom** (např. Tošić 2004, Falarz 2004, Štěpánek 2004 nebo Ledvinka 2008).

Vezměme kandidátskou řadu Y_i ($i = 1, \dots, n$) uvažovanou k testování relativní homogenity. Vytvoříme řadu poměrů (v případě srážek) nebo diferencí (v případě teploty nebo tlaku vzduchu) Q_i mezi testovanou a referenční (homogenní) řadou. Výslednou řadu standardizujeme na normální rozdělení a tím docílíme řadu Z_i (z-skórů) s nulovým průměrem (\bar{Q}) a jednotkovou směrodatnou odchylkou (σ_Q)

$$Z_i = (Q_i - \bar{Q}) / \sigma_Q$$

Nulová a alternativní hypotéza jsou stanoveny následovně:

$$H_0 : Z_i \in N(0,1), i = 1, \dots, n$$

$$H_1 : \begin{matrix} Z_i \in N(\mu_1, 1), i = 1, \dots, a \\ Z_i \in N(\mu_2, 1), i = a + 1, \dots, n \end{matrix}$$

kde N označuje normální rozdělení s jeho parametry (průměr a směrodatná odchylka). Hodnota a určuje rok, kdy s největší pravděpodobností došlo ke zlomu. Testovací kritérium T má stejnou podobu jako u parametrického SNHT při testování absolutní homogenity. Jestliže hodnota testovacího kritéria je větší než tabelovaná kritická hodnota, posuzujeme řadu na dané hladině významnosti jako nehomogenní.

Nevýhodou testu je, že rok nejpravděpodobnější změny má tendenci vyskytovat se blízko začátku a konce řady. Uvedený test může být navíc aplikován pouze na jednoduchý zlom. (Štěpánek 2004)

Test, který bude následně popsán, navrhl spolu s testem pro dva nezávislé výběry Wilcoxon v roce 1945. Jedná se o **Wilcoxonův test pro dva závislé výběry**, jinak také **jednovýběrový Wilcoxonův test**.

Základní postup vychází z rozdílů mezi měřeními ve dvou na sobě závislých výběrech. Předpokládáme, že hodnoty diferencí $d_i = x_i - y_i$, kde x_i jsou měření v prvním výběru a y_i jsou odpovídající měření ve druhém výběru, mají spojitě a symetrické rozdělení. Jsou-li některé difference nulové, vyloučí se a příslušně se zmenší n . Následně se zjistí pořadí absolutních hodnot $|d_i|$. Sečteme zvlášť pořadí rozdílů $d_i > 0$, resp. $d_i < 0$ a dostaneme příslušné součty $T+$ a $T-$.

Pro hodnoty d_i testujeme nulovou hypotézu, že jejich teoretické rozdělení má nulový průměr nebo medián. Testovací statistiku T vyjadřuje menší z hodnot $T+$ a $T-$. Pokud je T menší než kritická mez uvedená v tabulkách, můžeme hypotézu H_0 zamítnout na zvolené hladině významnosti. (Hendl 2004)

Při větším rozsahu výběru n lze opět použít aproximaci na normální rozdělení. Testovací statistika se pak spočte pomocí standardizace veličiny $T+$ (tj. součtu pořadí d_i , které jsou kladné). Výsledná testovací statistika Z má pak podobu

$$Z = \frac{T + -n(n+1)/4}{\sqrt{n(n+1)(2n+1)/24}}$$

Nulovou hypotézu zamítáme přibližně na hladině významnosti α , když je $|Z| \geq u(\alpha/2)$. (Zvára 2000)

Jako doplňková, vizualizační technika byla provedena také **metoda podvojně součtové čáry**. Metoda se v přírodních vědách využívá poměrně často ke zjišťování homogenity časové řady pomocí jiné časové řady. Princip konstrukce spočívá v tom, že máme k dispozici časovou řadu *A* (např. průtoků) a zkoumáme její homogenitu pomocí řady *B*, která je homogenní. Blažek, Kříž a Schneider (1981) navrhuji pro řadu *B*:

- řadu stejných hodnot (např. čas – pak můžeme mluvit o jednoduché součtové čáře)
- řadu průtokových charakteristik jiné stanice v povodí
- řadu průtokových charakteristik jiné stanice na témže toku
- řadu jiných průtokových hodnot, nebo charakteristik u téže stanice
- řadu srážkových úhrnů nebo jiných prvků ovlivňujících odtok – příčinná závislost

Z obou řad jsou následně vytvořeny postupné součty. Odpovídající dvojice hodnot součtů řady *A* a řady *B* tvoří souřadnice bodů v kartézské soustavě souřadnic. Body proložená přímka nebo křivka určuje vztah obou řad. V případě identifikace významných odchylek od lineárního průběhu a zároveň nalezení zlomů je možno uvažovat o narušení homogenity řady *A*. Touto metodou však nelze zjistit důvod porušení homogenity.

V České republice tuto metodu úspěšně aplikovali mj. Kliment a Matoušková (2005, 2007, 2009), Královec (2006), Ledvinka (2006, 2008) nebo Kaňok (1997).

2.2.5 Doplnování chybějících dat

Při velkém množství zpracovávaných dat, jako tomu bylo i v této studii, se stává v podstatě pravidlem, že jsou upotřebené datové řady nekompletní. Důvodů může být rovnou několik. Vzpomeňme např. závadu nebo výpadek měřicího přístroje (ať už vinou technického kolapsu aparátu nebo extremity sledovaného jevu), pravidelnou revizní přestávku, úmrtí pozorovatele či dokonce zrušení stanice. V tom případě máme několik možností, jak dále postupovat. Můžeme chybějící hodnoty z následných analýz jednoduše vypustit nebo je na základě určitých statistických technik dopočítat. Někdy je možné časovou řadu kompletně nahradit nově vzniklou řadou (fiktivní), která může vzniknout např. spojením několika jiných. (Ledvinka 2008)

V této práci bylo největším problémem doplnění chybějících dat v časových řadách srážek. Původně se pracovalo s měsíčními daty ze 24 klimatologických a srážkoměrných stanic. Časové řady byly v závislosti na jednotlivých stanicích získány pro období 1961 – 2006. Z původního souboru byla vyřazena klimatologická stanice Karlova Studánka, u níž byla kromě chybějících hodnot na závadu také datová neshoda s okolními stanicemi. U zbylých 23 stanic byly jejich časové řady rozděleny podle měsíců, čímž vzniklo pro každou stanici 12 nových subřad (listopadová, prosincová, atd.). V rámci každé subřady byla metodou lineární regrese vytvořena matice koeficientů determinace, které určovaly variabilitu (těsnost vztahu) mezi závisle proměnnou (řada s chybějícími hodnotami) a nezávisle proměnnou (úplná řada). Chybějící hodnoty byly doplněny na základě lineární rovnice ve vztahu s jinou stanicí. V úvahu byly brány jak velikost koeficientu, tak vzájemná vzdálenost stanic.

Tímto způsobem se podařilo získat kompletní řady měsíčních úhrnů srážek u všech 23 stanic, které následně vstupovaly do výpočtu plošné srážky na obou povodích (Kap. 2.2.6). Následující kapitola přibližuje aplikovanou metodu orografické interpolace.

2.2.6 Orografická interpolace

Pro výpočet plošných měsíčních a ročních charakteristik klimatických prvků (srážky, teplota vzduchu, sněhová pokrývka) v povodí byla použita metoda orografické interpolace vyvinutá Ing. Petrem Šerclem z ČHMÚ v Praze. Extenze s názvem OROGR.AVX byla aplikována v softwaru Arcview 3.2 s nainstalovaným rozšířením Spatial Analyst. Tato extenze slouží obvykle k výpočtu srážkového pole (rastru, gridu) na podkladě bodových pozorování srážek a uplatnění regresní závislosti srážky na nadmořské výšce.

Základními vstupními daty jsou vrstva bodových pozorování (úhrnů) srážek daná zeměpisnými souřadnicemi X a Y (srážkoměrné stanice) a rastr (grid) představující obecně nějaký „terén“. Terénem se tímto případě nemusí rozumět pouze skutečný digitální model terénu, ale může to být i účelově odvozený rastr ze základní vrstvy digitálního modelu terénu (např. vyhlazený nebo zprůměrovaný).

Smyslem metody je maximálně využít poznatků o změně výšky srážek s nadmořskou výškou (tzv. orografický efekt) získaných z bodových pozorování

o známých souřadnicích a nadmořské výšce a lépe tak odhadnout velikosti srážkových úhrnů na území s menší hustotou těchto pozorování (zejména v horských oblastech). Prostá interpolace bodových pozorování v ploše bez respektování těchto zákonitostí by vedla často k podhodnocení průměrných srážek v těchto oblastech (převažují totiž srážkoměrné stanice v údolních polohách, vrcholové lokality jsou zpravidla zastoupeny vzácně). Stejný případ je sledován i v modelovém povodí Opavy, kde panují velké výškové rozdíly a měření srážek (ale obecně všech klimatických prvků) je ve vyšších polohách zastoupeno sporadicky. Jako příklad bych uvedl rozdíl v nadmořských výškách dvou nejvýše položených stanic zahrnutých do prováděných analýz (Praděd 1490 m n.m. a Vidly 781 m n.m.).

Není však vyloučeno ani jiné užití extenze úplně mimo oblast výpočtu srážek. Vstupními daty mohou být jakákoli bodová a gridová vrstva, mezi kterými existuje významná statistická vazba. Jako příklad může sloužit třeba výpočet rastru teplot nebo výšky sněhové pokrývky. Při výpočtu srážek byla orografická interpolace využita mj. v pracích Podlahy (2003) a Šercla (2008) a Šmídové (2009), další klimatické charakteristiky jako teplotu vzduchu nebo výšku sněhové pokrývky s její pomocí počítala Chalušová (2004). Více o metodě orografické interpolace uvádí Šercl a Lett (2004).

2.2.7 Trendy a korelační závislosti v časových řadách

Pod analýzou trendu časových řad se nerozumí nic jiného než korelace příslušných dat a_i s časem t . Můžeme uvažovat trend lineární či nelineární, rostoucí (pozitivní, progresivní) nebo klesající (negativní, regresivní). Po nalezení určitého trendu nás ale musí také zajímat, zda je příslušný vypočtený trend významný (signifikantní). Vedle běžných metod testování korelačního počtu se dají pro analýzy trendu časových řad uvažovat také speciální testy. Konkrétněji o tom pojednává Schönwiese (2006).

Pro hodnocení výskytu trendu v hydroklimatických jevech bývají aplikovány především neparametrické statistické metody. Nejčastěji používanou je **Mann-Kendallův test** pro zjištění trendu v časových řadách (např. Burn 2008, Burn, Cunderlik 2004, Aziz, Burn 2006, Burn, Elnur 2002, Kliment, Matoušková 2009, Ledvinka 2008). Jeho obdobnou verzí je sezónální Mann-Kendallův test, který navíc bere v úvahu sezonalitu v datech. Kromě nich se v odborné literatuře můžeme hojně

setkat i se Senovým T-testem, Spearmanovým ρ -testem nebo Mann-Whitneyho testem pro postupný trend (viz Chen et al. 2009, Kahya, Kalayci 2004, Xiong, Guo 2004, Radziejewski, Kundzewicz 2004).

V této práci byl ke zjištění signifikantních trendů v měsíčních, sezónních a ročních hydrologických a klimatických časových řadách použit Mann-Kendallův test, který byl počítán v softwaru MS Excel s pomocí makra od Anderse Grimvalla a Claudie Libiseller. Tento test je široce užívaný pro svoji jednoduchost a robustnost a dokáže se vyrovnat i s chybějícími nebo odlehlými hodnotami. (Libiseller 2004) Jeho slabina tkví v použitelnosti pouze pro případy monotónních trendů.

Mann-Kendallova testovací statistika je vypočtena podle

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i)$$

kde X_i a X_j jsou po sobě následující datové hodnoty a n je délka časové řady. $\text{Sgn}(x)$ je definováno jako

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1, & x > 0 \\ 0, & x = 0 \\ -1, & x < 0 \end{cases}$$

Mann-Kendallův test má dva parametry, které jsou důležité k detekci trendu. Jedním z nich je míra signifikance (significance level), která označuje sílu testu a druhá je odhad velikosti směrnice (slope magnitude estimate), která určuje směr a velikost trendu. Jestliže S nabývá pozitivních hodnot, indikuje tím rostoucí trend, v opačném případě testovací statistika značí klesající trend. (Burn, Elnur 2002)

Testovací statistika může být pro $n > 40$ standardizována na normální rozdělení (z) s průměrem nula a rozptylem $\text{Var}(S)$

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t(t-1)(2t+5) \right]$$

kde m je počet shodných skupin a t je rozsah dané skupiny. Nulová hypotéza, která říká, že se v časové řadě žádný trend nevyskytuje, může být zamítnuta v případě, že $|z| \leq z_{\alpha/2}$ při zvolené hladině významnosti α . Jestliže se však nevyskytuje v datech příliš shod, je možné test použít už při $n < 10$. (Salas 1993)

Statistická analýza se však zřídka zabývá pouze jednou izolovanou proměnnou. Častěji se zajímáme o srovnání několika rozdělení, o změny proměnné v čase nebo vztahy mezi proměnnými. Ke sledování závislosti dvou a více veličin

jsou v širokém odborném světě používány metody korelační a regresní analýzy. Korelační analýza zkoumá vztahy proměnných graficky a pomocí různých měr závislosti, které nazýváme korelační koeficienty (měří sílu závislosti). Regresní analýza naproti tomu řeší odpověď na otázku, jaký je tvar dané závislosti (lineární, exponenciální, atd.) a lze pak za jejího přispění odhadnout hodnotu závisle proměnné na základě znalosti nezávisle proměnné. (Hendl 2004)

V této studii byla těsnost vztahů řešena za užití neparametrického **Kendallova koeficientu pořadové korelace** (Kendalovo τ). Tento koeficient je závislý na počtu inverzí dvojic jednotlivých objektů. Vycházíme z ordinálního hodnocení n objektů podle dvou kritérií (proměnných) X a Y . Ke každému objektu získáme jeho ohodnocení (pořadí) – (x_i, y_i) . Nejprve seřadíme dvojice (x_i, y_i) tak, že hodnoty x_i budou tvořit rostoucí posloupnost. Jestliže je mezi proměnnými X a Y kladná asociace, pak budou mít také y_i vzestupnou tendenci. Při záporné asociaci budou mít y_i sestupnou tendenci. V případě, že platí (při podmínce $i, j = 1, \dots, n$ a $i \neq j$)

- $x_i > x_j$ a $y_i > y_j$ nebo $x_i < x_j$ a $y_i < y_j$ – jedná se o souhlasnou dvojici (concordant)
- $x_i > x_j$ a $y_i < y_j$ nebo $x_i < x_j$ a $y_i > y_j$ – jedná se o nesouhlasnou dvojici (discordant)
- $x_i = x_j$ a/nebo $y_i = y_j$ – jedná se o nerozhodnou dvojici (tie)

Součet souhlasných dvojic se nazývá **konkordance** (n_c), jež skóruje pro kladnou asociaci, počet nesouhlasných dvojic se nazývá **diskordance** (n_d), která skóruje pro negativní asociaci. Kendalovo τ (někdy též τ_k) se pak vypočítá podle

$$\tau = \frac{n_c - n_d}{n(n-1)/2}$$

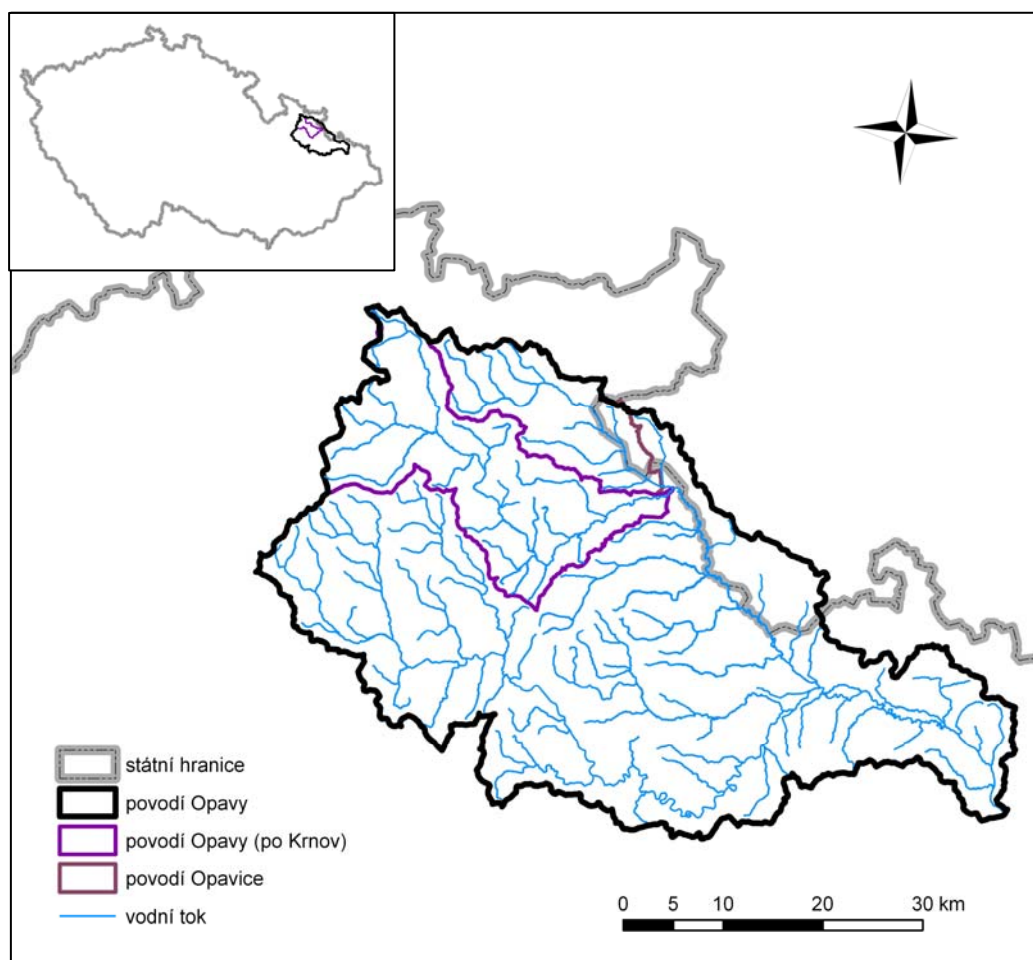
Kendalovo τ vyjadřuje rozdíl mezi pravděpodobnostmi, že hodnoty dvou proměnných jsou ve stejném pořadí oproti pravděpodobnosti, že hodnoty nejsou ve stejném pořadí. Při větším výskytu nerozhodných párů se použije modifikované τ_b . (viz Zvára 2000) V případě absence nerozhodných párů je τ_b rovné τ . V našem případě bylo použito koeficientu τ_b .

Samozřejmě je možné testovat nulovou hypotézu o nezávislosti proměnných X a Y . Abdi (2007) uvádí, že při $n > 10$ může být testovací statistika τ_b převedena na standardizované normální rozdělení. Rozhodování o platnosti nulové hypotézy pak vychází z kritických hodnot standardizovaného normálního rozdělení.

3. FYZICKOGEOGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA

3.1 Vymezení a základní charakteristika území

Povodí řeky Opavy se nachází na severovýchodním okraji České republiky při státní hranici s Polskem (Obr. 3.1). Podle administrativního členění se rozkládá povětšinou v Moravskoslezském kraji, přičemž jeho severozápadní cíp již leží v Olomouckém kraji a na východě částečně zasahuje na polské území. Řeka Opava patří k úmoří Baltského moře, kam je odvodňována Odrou. Do Odry ústí na svém 122.kilometru v Ostravě (Brosch 2005). Západní část rozvodnice, hlavní hřeben Hrubého Jeseníku, tvoří úsek hlavního evropského rozvodí mezi povodími Odry a Dunaje. Jde o část probíhající mezi přes vrcholy Vysoká Hole (1464 m), Petrovy kameny (1438 m), Praděd (1491 m) a Malý Děd (1355 m).



Obr. 3.1: Poloha zájmového území

(Zdroj: DIBAVOD)

Předkládaná diplomová práce se však nezabývá celým povodím Opavy, ale pouze dvěma jeho dílčími povodími – povodím Opavy po limnigrafickou stanicí Krnov a povodím Opavice. Dále v textu budou již myšlena pouze tato povodí.

3.2 Geologie

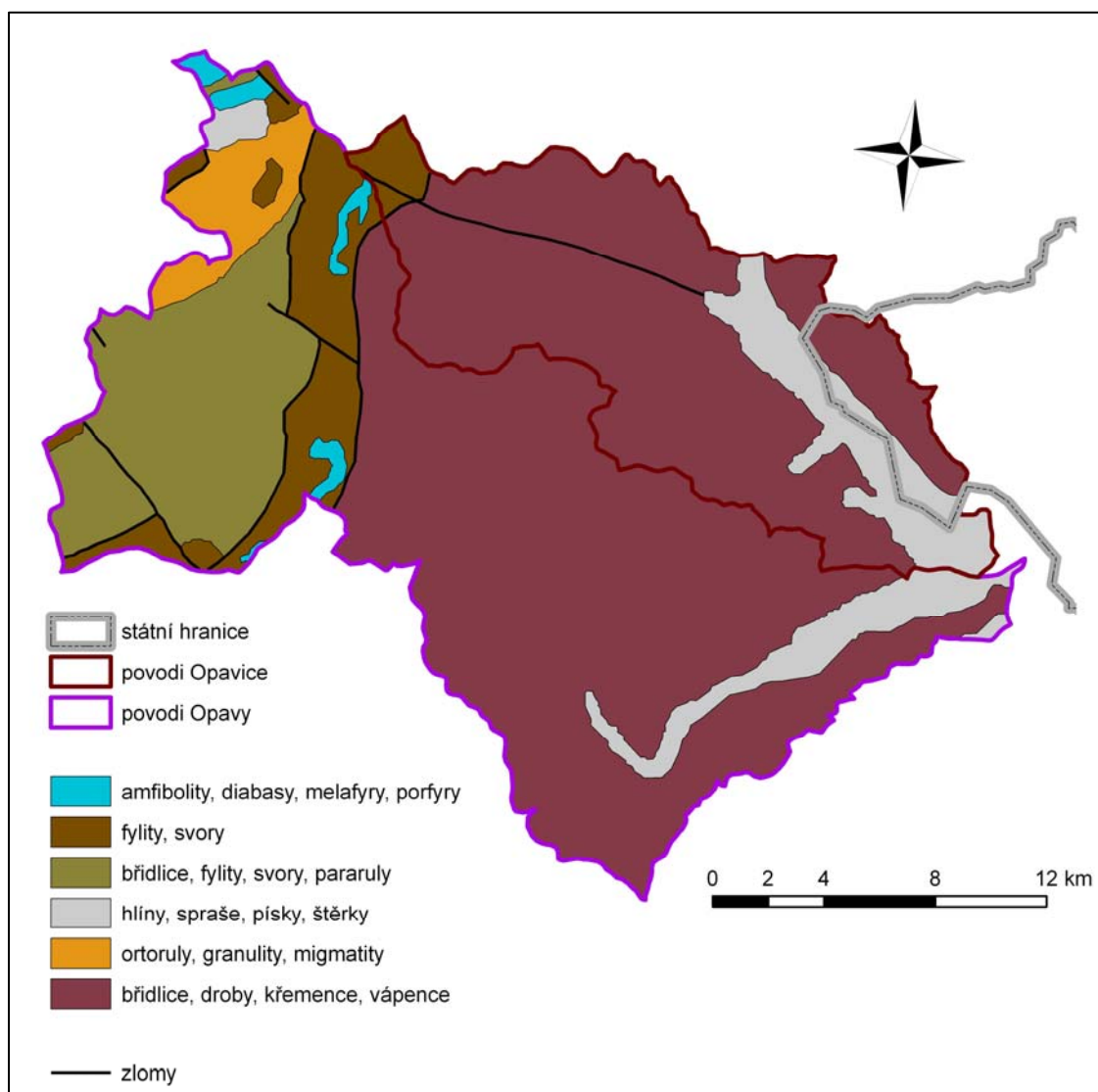
Z regionálně geologického hlediska náleží zájmové území k moravskoslezské oblasti Českého masivu. V moravskoslezské oblasti lze vymezit tři strukturní patra, z nichž každé má autonomní stavbu – kadomské, variské a alpinské.

Nejstarší kadomské patro je tvořeno plutonity a metamorfity a tvoří podklad variské stavbě moravskoslezské oblasti. Toto krystalinikum proterozoického stáří vystupuje v jádře desenské klenby v Hrubém Jeseníku.

Variské patro tvoří moravskoslezské paleozoikum, tj. sled slabě metamorfovaných až nemetamorfovaných sedimentů a vulkanitů paleozoického stáří (devon, spodní a svrchní karbon). Patří sem obalová série desenské klenby, kterou tvoří vrbenská skupina devonského stáří. Ta je tvořena metamorfovaným devonským vulkanosedimentárním komplexem. Bázi vulkanosedimentárního komplexu vrbenského pásma tvoří slepence přecházející v kvarcity. V jejich nadloží se vyskytují různé typy fylitů s vložkami eruptiv intruzivní a efusivní povahy. Nejmladšími členy komplexu jsou drobně krystalické vápence s fylity, vyskytující se zejména v okolí Vrbna pod Pradědem, kde na ně přímo navazují sedimenty spodního karbonu – kulmu.

Sedimenty moravskoslezského kulmu zaujímají rozsáhlou oblast Nízkého Jeseníku. Představují mohutný flyšový komplex spojený s vývojem variského pohoří, který je charakteristický rytmickým střídáním břidlic a středně zrnitých drob. Tyto sedimenty jsou překryté břidlicemi nebo vápenci, které se zde usazovaly v dobách periodického zaplavování mořem. (Brázdil, Kirchner et al. 2007)

Nejmladšími horninami nacházejícími se na sledovaném území jsou kvartérní sedimenty. Vzhledem k tomu, že na povodí částečně zasahoval také pleistocénní pevninský ledovec, najdeme zde pozůstatky fluvioglaciálních sedimentů. Kromě nich však převažují eolické a fluviální usazeniny. Jsou to jednak vápnité spraše a odvápněné sprašové hlíny, které se zde usazovaly ve svrchním pleistocénu (viselský glaciál), a pak také fluviální písčité štěrky překryté holocenním souvrstvím povodňových písků a hlín (Obr. 3.2).



Obr. 3.2: Geologická mapa

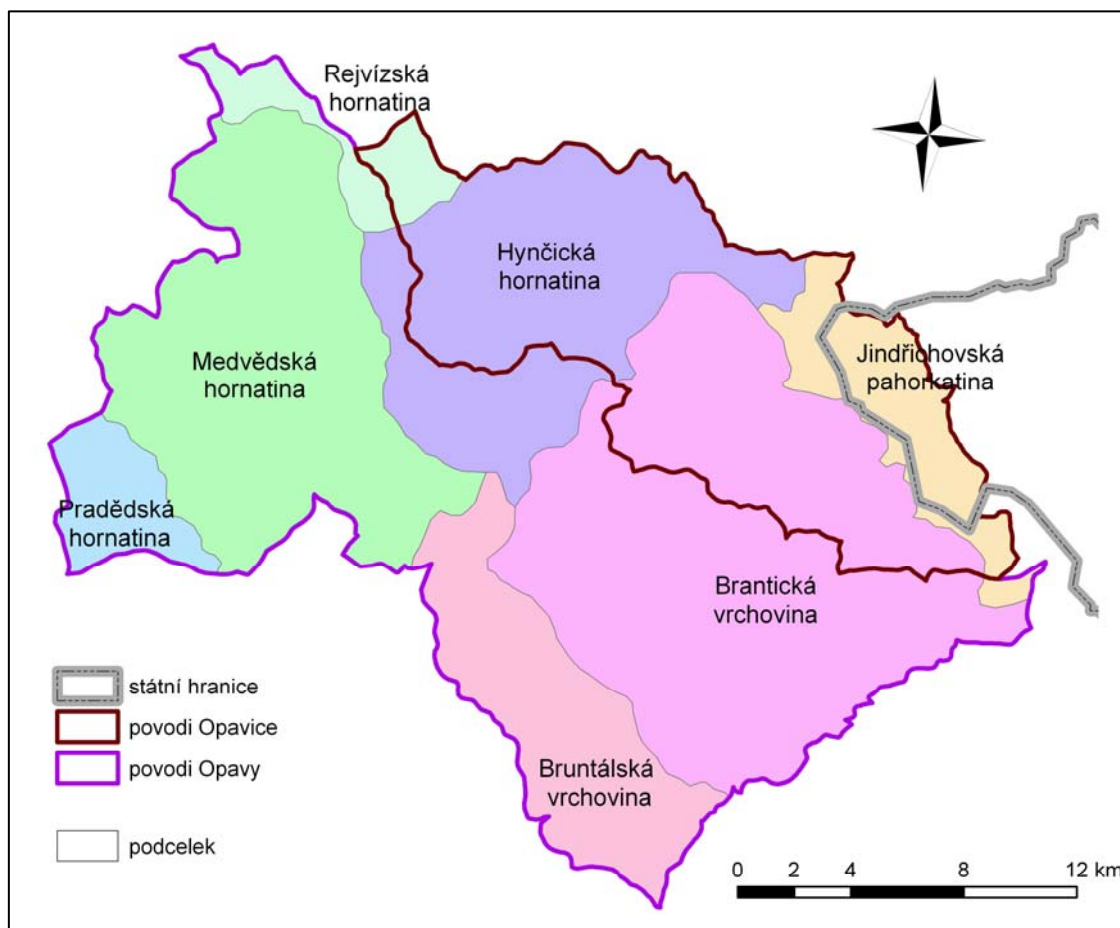
(Zdroj: CENIA)

3.3 Geomorfologie

Morfostrukturní stavba povodí Opavy je výrazným výsledkem variské orogeneze. V té době byl založen systém tektonických prvků (pásem a zlomů). Současná podoba reliéfu byla dotvořena až při alpinském vrásnění, kdy došlo k rozlámání zarovnaného povrchu a k aktivizaci starých poruchových linií, podél nichž se jednotlivé kry vertikálně zdvihly nebo poklesly. Rozhodující význam přitom měly zlomy ve směru SZ-JV. (Demek et al. 1987)

Z regionálně-geomorfologického hlediska leží povodí Opavy v provincii Česká vysočina, konkrétně v Krkonošsko-jesenické subprovincii. V rámci této subprovincie

zasahují do povodí tři celky (sedm podcelků) – Hrubý Jeseník (Pradědská hornatina a Medvěděská hornatina), Nízký Jeseník (Brantická vrchovina a Bruntálská vrchovina) a Zlatohorská vrchovina (Rejvízská hornatina, Hynčická hornatina a Jindřichovská pahorkatina). Plošné rozložení jednotlivých podcelků prezentuje Obr. 3.3.



Obr. 3.3: Geomorfologické členění

(Zdroj: CENIA)

Celek Hrubý Jeseník se rozkládá v západní části povodí. Nejvyšších nadmořských výšek dosahuje ve své centrální části - **Pradědské hornatině** (Praděd 1491,2 m). Jedná se o složitou vyzdvíženou zlomovou kru, rozčleněnou hluboce zařezanými, radiálně se rozbíhajícími údolími, z nichž hlavní jsou založeny na zlomech. Je budována krystalickými horninami desenské klenby a jejího obalu. Na širokých hřbetech najdeme zbytky zarovnaného povrchu přemodelované v kryogenní mezoreliéf s četnými izolovanými skalami, kryoplanačními terasami, mrazovými sruby a kamennými moři. Podobným charakterem reliéfu se vyznačuje i východní část Hrubého Jeseníku – **Medvěděská hornatina** (nejvyšší bod – Medvědí vrch 1216,2 m).

Také zde se uplatnila silná periglaciální modelace dřívějších zarovnaných povrchů, které byly tektonicky rozlámány. Důkazem jsou různé periglaciální tvary reliéfu – mrazové sruby, suťová pole, kryoplaneční terasy aj.

Severovýchodní část povodí tvoří celek **Zlatohorská vrchovina** (nejvyšší bod – Příčný vrch 974,7 m). Jedná se o kernou vrchovinu, která jednotlivými krami klesá od úpatí Hrubého Jeseníku k severovýchodu a východu. Její okraje jsou rozřezány hlubokými údolími a hřbety přemodelovány kryogenními pochody. Je složená převážně ze zvrásněných a zčásti přeměněných karbonských hornin, které jsou překryté mladšími sedimenty. (Demek et al. 1987)

Jihovýchodně od Hrubého Jeseníku leží rozsáhlá geomorfologická jednotka Nízký Jeseník. Od okolního území je omezena většinou výraznými, příkrými a přímočaře probíhajícími svahy, často zlomového původu. Je to plochá vrchovina o průměrné nadmořské výšce 400 – 600 m, která ze svých nejvyšších partií na západě (až 800 m) postupně klesá k východu až do výšky 320 m. Základní rysy dávají reliéfu plošiny tvořící zarovnaný povrch, široce zaoblené hřbety na rozvodí vodních toků a různě zahloubená, často asymetrická údolí. (Demek et al. 1965)

3.4 Pedologie

Vzhledem k výrazným výškovým rozdílům je povodí Opavy pedologicky velmi pestré. Na vývoji jednotlivých zonálních půdních typů se podílí kromě reliéfu a klimatu také horninový podklad.

V západní části povodí (Hrubý Jeseník) jsou převládajícím půdním typem **podzoly**. Vyvinuly se v nejvyšších horských polohách ve velmi vlhkém a chladném klimatu, kde roční úhrn srážek zpravidla přesahuje 800 mm. Substrátem pro vznik podzolů jsou většinou minerálně slabé a kyselé substráty (ruly, svory, pískovce). Vyskytuje se zde podzol modální a substrátově podmíněný podzol arenický.

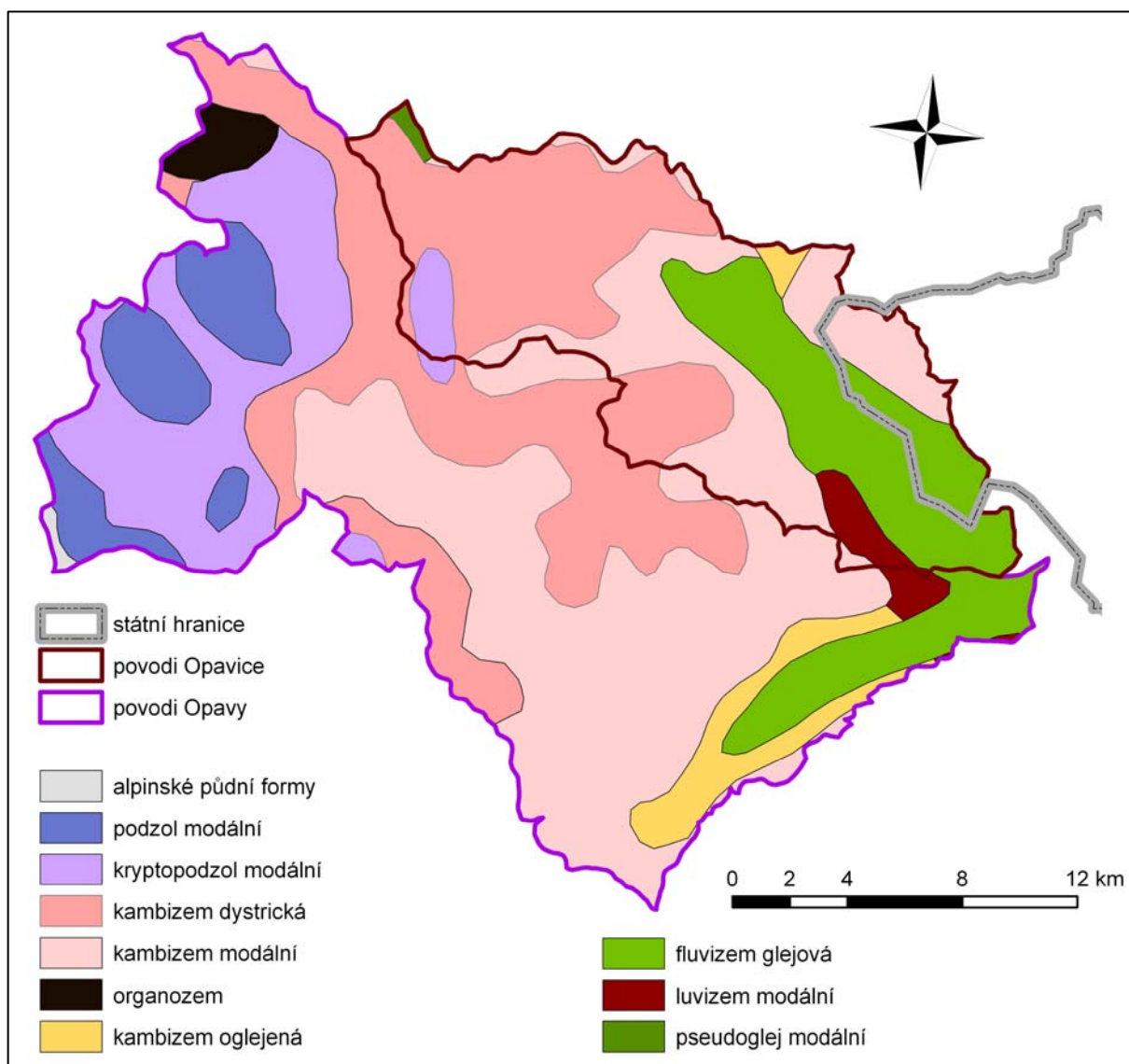
V nižších polohách na podzoly navazují **kryptopodzoly** (kryptopodzol modální a rankerový). Vznikaly na obdobném horninovém podkladu jako podzoly, ale na jejich morfogenezi se společně s podzolizací podílel také proces braunifikace.

Nejrozšířenějším půdním typem nejen v České republice, ale také v povodí Opavy jsou **kambizemě** (Obr. 3.4). V oblasti Zlatohorské, Bruntálské a Brantické vrchoviny se na svahovinách drob a břidlic vytvořily rozsáhlé celky kambizemě

dystrické spolu s doprovodnou kambizemí modální a oglejenou. (Němeček, Tomášek 1983)

Podél toku Opavy se táhnou poměrně úzké pruhy **fluvizemí** (fluvizem glejová a modální), které jsou vázané na nivní bezkarbonátové sedimenty. Při jejich genezi docházelo vlivem záplav k periodickému střídání akumulací humusu a fluviálních sedimentů.

V oblasti rašelinišť kolem Rejvízu se vyskytuje kyselá **organozem** glejová, která vznikla ve vlhkém horském klimatu pod porosty rašeliníku. V nejvyšších nadmořských výškách nad přirozenou hranicí lesa se vyvinuly pouze primitivní alpské půdní formy. (Tomášek 2000)

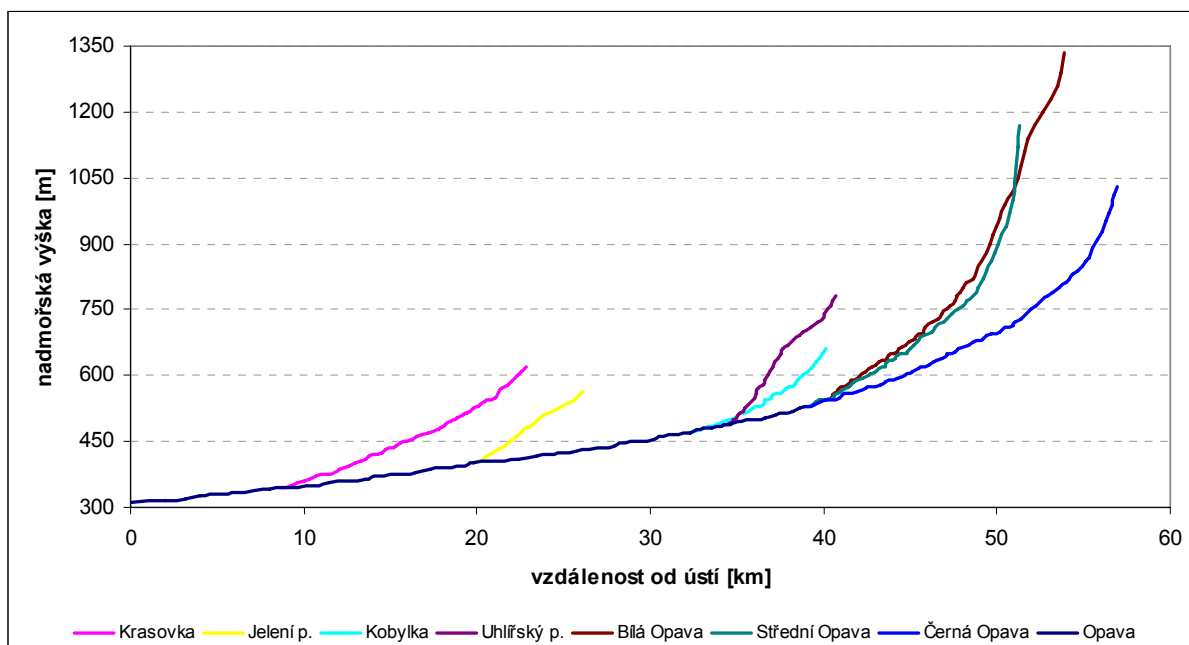


Obr. 3.4: Mapa půdních typů
(Zdroj: Tomášek, 2000)

3.5 Hydrografie

Řeka Opava vzniká soutokem Černé a Střední Opavy ve Vrbně pod Pradědem ve výšce 540 m n.m. Za hlavní zdrojnicí je považována Černá Opava, která pramení na západním svahu Orlíku v nadmořské výšce 1030 m, je 17,9 km dlouhá a odvodňuje plochu 58,7 km². Střední Opava má svůj počátek na severovýchodních svazích Pradědu ve výšce 1195 m n.m. Její délka je 12,4 km a plocha povodí po soutoku s Bílou Opavou 54,4 km². Největším přítokem je Bílá Opava, která do Střední Opavy ústí zprava před Vrbnem pod Pradědem ve výšce 544 m n.m. Bílá Opava pramení na jižních svazích Pradědu ve výšce 1260 m n.m., měří 13,6 km a její povodí zaujímá plochu 27,5 km². (Brázdil, Kirchner et al. 2007) Všechny tři toky mají bystřinný charakter a vyznačují se pravoúhlým uspořádáním říční sítě, které je podmíněno tektonickými zlomy.

Na Obr. 3.5 je možné sledovat rozvinutý podélný profil Opavy, jenž ukazuje výrazné výškové rozdíly, které musí toky překonat na poměrně krátké vzdálenosti. S tím souvisí i velký spád toků, který podporuje jejich erozní činnost modelující údolí. Výškově nejčlenitějším územím protéká Bílá Opava, která se po celé délce toku ostře zařezává a hloubka jejího údolí dosahuje v průměru 300 m. (Kyšová 2007)



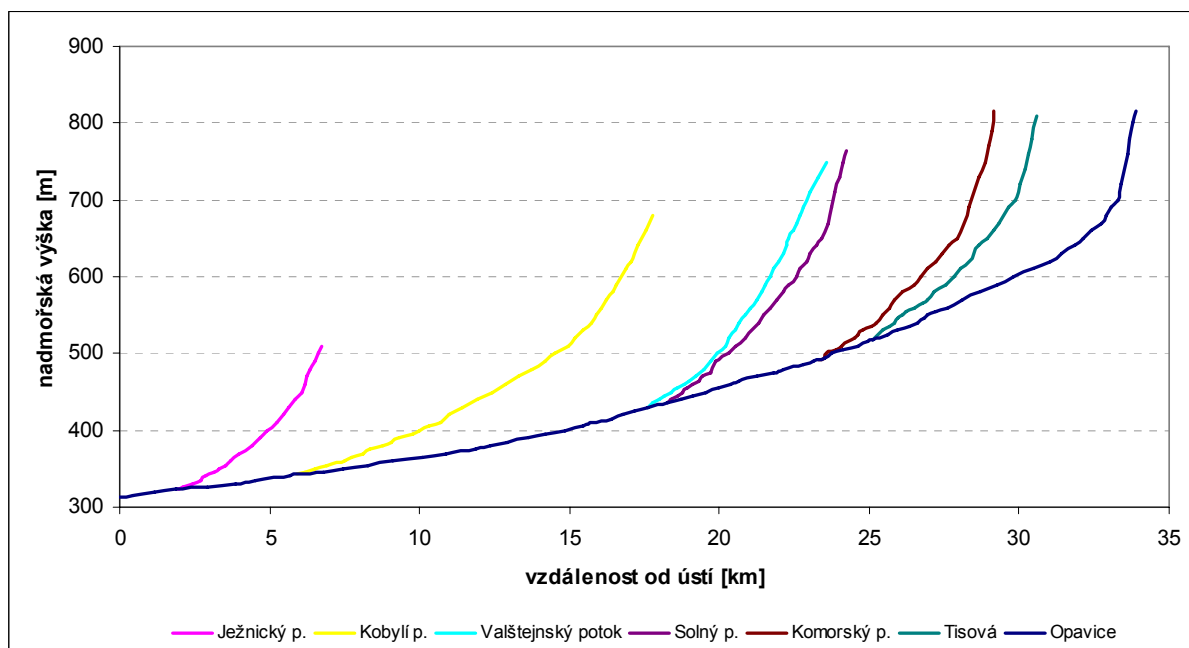
Obr. 3.5: Podélný profil Opavy a jejích přítoků

(Zdroj: DMÚ25, ZVM)

Od Vrbna pod Pradědem teče Opava horským údolím mezi Hrubým Jeseníkem a Zlatohorskou vrchovinou. Dále pokračuje přes Nízky Jeseník až do Poopavské nížiny. U Ostravy-Třebovic v Ostravské pánvi ústí řeka Opava zleva do Odry (210 m n.m.). Na středním toku mezi městy Krnovem a Opavou tvoří státní hranici s Polskem. (Vlček et al. 1984) Po limnigrafickou stanici Krnov zaujímá povodí Opavy plochu 370,68 km² a samotný hlavní tok měří 57,2 km.

Největším levostranným přítokem Opavy je řeka Opavice, která se do ní vlévá zleva v Krnově ve výšce 311 m n.m. Pramení na jihozápadních svazích Příčného vrchu v nadmořské výšce 850 m. Po limnigrafickou stanici v Krnově zabírá plochu 174,12 km² a měří 34,4 km. Opavice je téměř po celé své délce regulována a její koryto je antropogenně upraveno. Protéká poměrně sevřeným údolím, které se až za Městem Albrechtice rozšiřuje, snižuje se podélný sklon koryta a vytváří se údolní niva. Za Městem Albrechtice tvoří Opavice přirozenou státní hranici České a Polské republiky.

Obr. 3.6 ukazuje rozvinutý podélný profil Opavice, kde opět vidíme velké výškové rozdíly v povodí a strmé spády toků hlavně na horních tocích (i když již ne tak výrazné jako tomu bylo v případě Opavy).

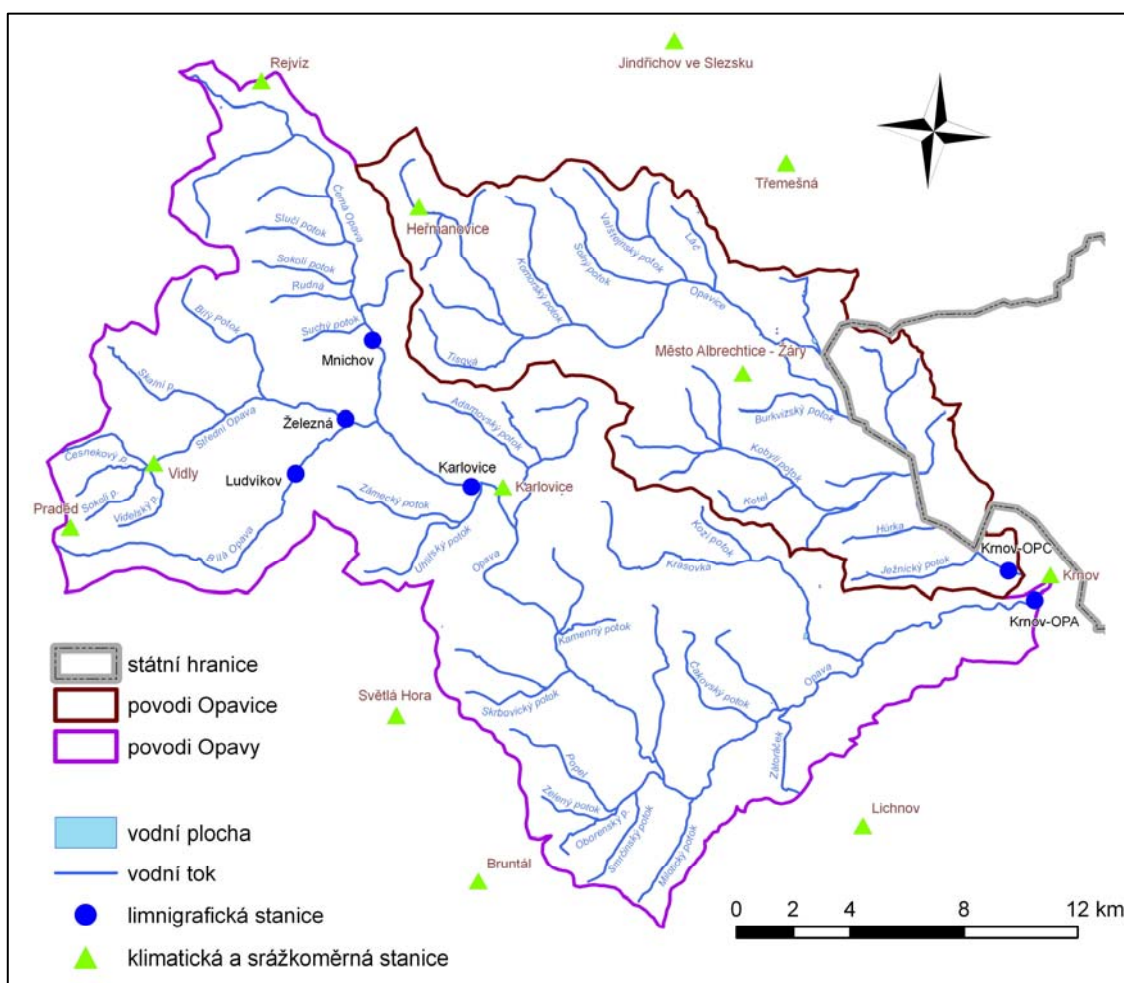


Obr. 3.6: Podélný profil Opavice a jejích přítoků

(Zdroj: DMÚ25, ZVM)

Tab. 3.1 přináší srovnání jednotlivých hydrografických charakteristik obou sledovaných povodí. Povodí Opavy je více než dvakrát větší než povodí Opavice, čemuž odpovídají jednotlivé délkové a plošné charakteristiky, a vyznačuje se většími výškovými rozdíly.

Tvar obou povodí je vějířovitého typu, ale se dá říci, že povodí Opavice je protáhlejší a povodí Opavy naopak kruhovitější. Obě povodí jsou relativně souměrná, což potvrzuje i koeficient souměrnosti plochy povodí. U Opavy o něco výrazněji převažuje pravá část povodí, což je důsledek určení Černé Opavy jako hlavní zdrojnice toku. Povodí Střední a Bílé Opavy tak náleží pravé části povodí. Obě povodí mají listovité uspořádání říční sítě, i když povodí Opavy po soutok Černé a Střední Opavy ve Vrbně pod Pradědem představuje vějířovitý typ. (Obr. 3.7) Podle hustoty říční sítě jsou obě povodí srovnatelná, činí kolem 1 km.km^{-2} . Největší je přirozeně na horních tocích, směrem po proudu klesá. (Obr. 3.8)



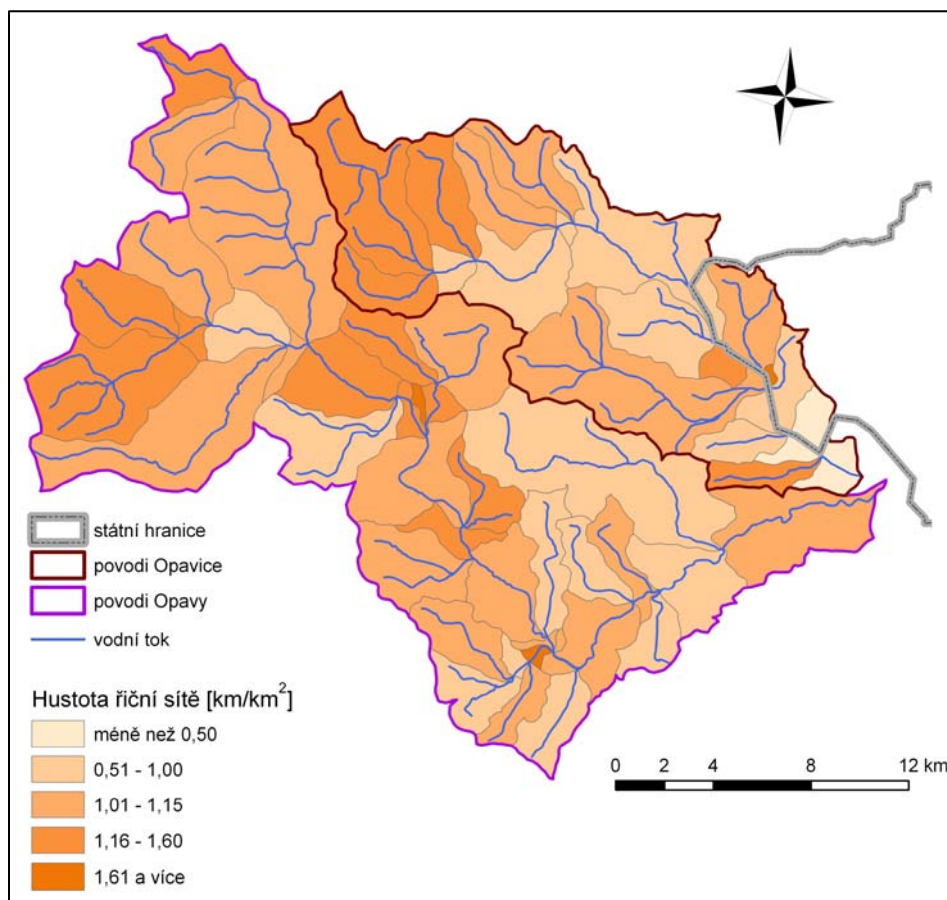
Obr. 3.7: Říční síť

(Zdroj: ZVM, ČHMÚ)

Tab. 3.1: Základní hydrografické charakteristiky povodí

Základní charakteristiky povodí	Opava	Opavice	Tvar povodí	Opava	Opavice
plocha povodí [km ²]	370,17	175,61	Graveliův koeficient	1,97	1,68
levá část povodí [km ²]	146,32	77,19	koeficient protáhlosti povodí	0,61	0,54
pravá část povodí [km ²]	223,84	98,42	charakteristika povodí	0,29	0,23
délka povodí [km]	35,6	27,6	koeficient souměrnosti plochy povodí	0,21	0,12
délka rozvodnice [km]	134,3	78,7	Výškopisné poměry povodí	Opava	Opavice
délka toku [km]	57,2	34,4	převýšení [m]	1180	660
celková délka toků [km]	404,0	183,8	sklon povodí	61,33	49,80
přímková vzdálenost od pramene k ústí [km]	32,0	26,0	koeficient reliéfu	33,15	23,89
nejvyšší bod [m n.m.]	1491	974	Další charakteristiky	Opava	Opavice
nejnižší bod [m n.m.]	311	314	hustota říční sítě [km.km ⁻²]	1,09	1,05
			stupeň vývoje toku	0,56	0,76

(Zdroj: DMÚ25, ZVM, ČHMÚ)

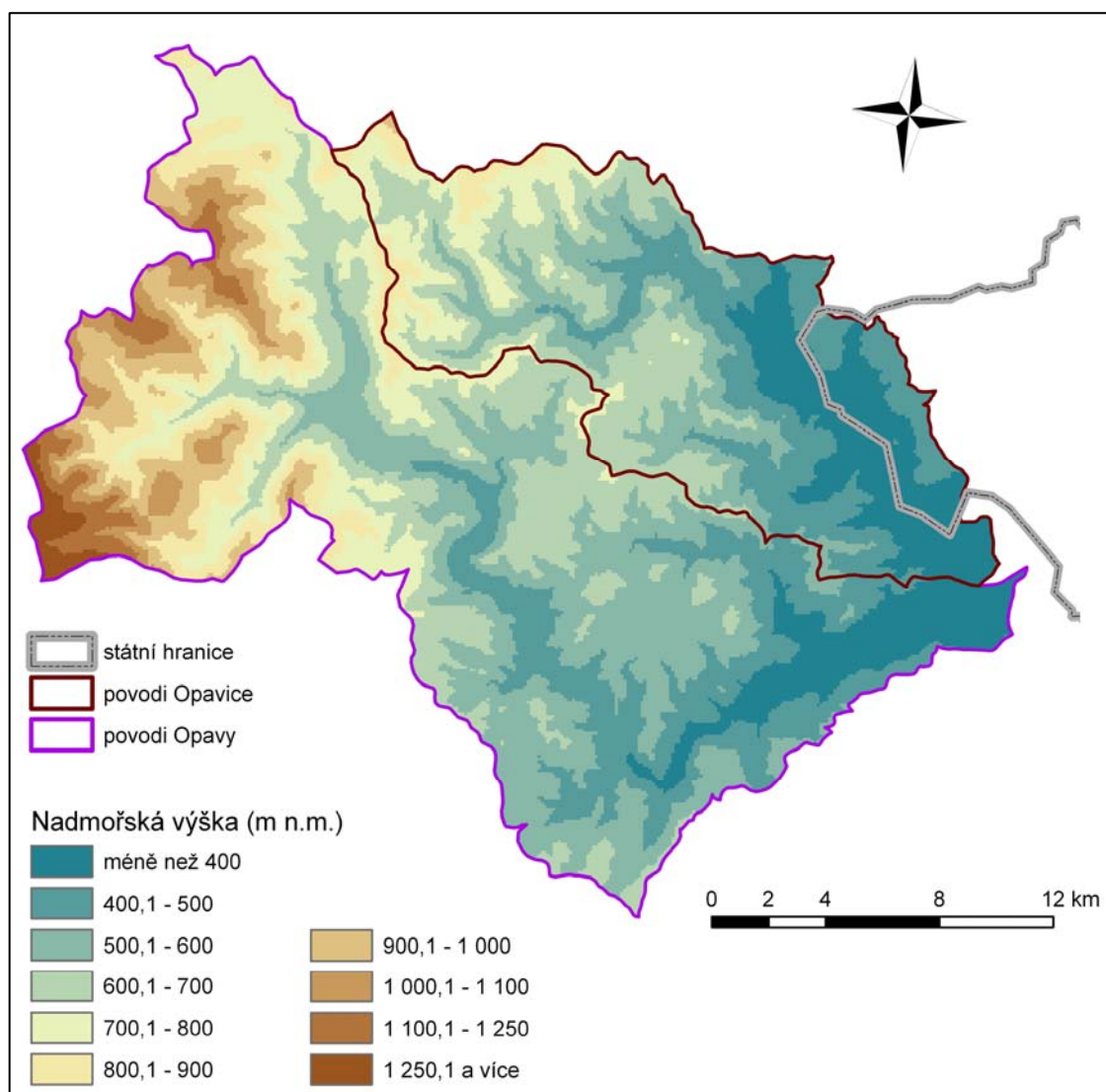


Obr. 3.8: Hustota říční sítě

(Zdroj: ZVM)

3.6 Morfometrie

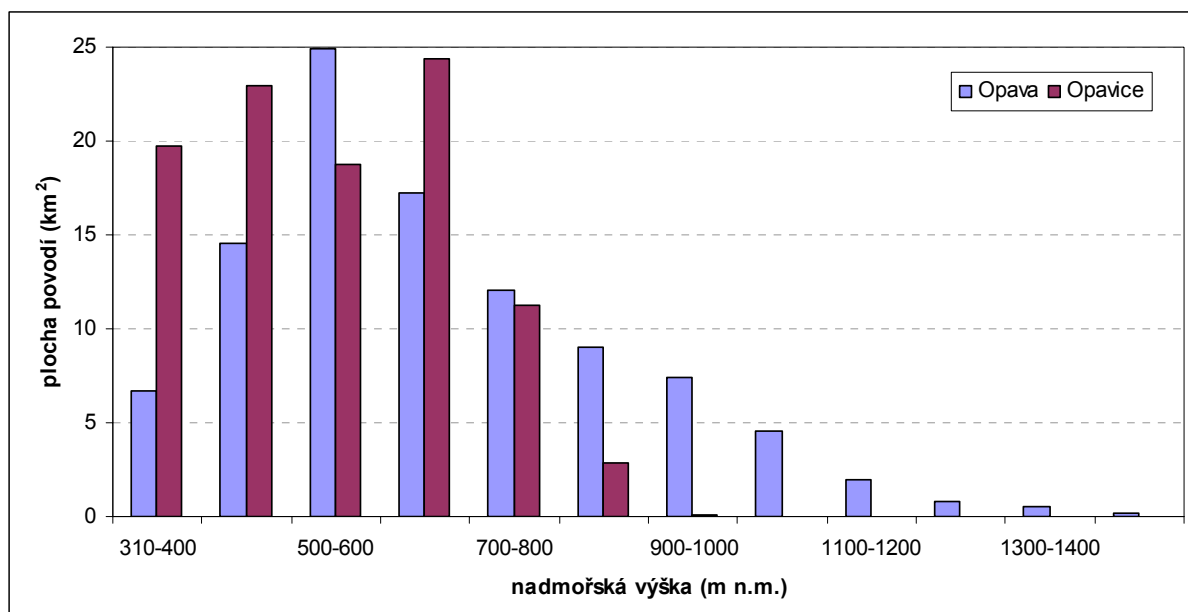
Morfometrické charakteristiky byly zpracovány a vypočteny pomocí softwaru ArcGIS. Pro vytvoření digitálního modelu reliéfu byl vybrán vrstevnicový digitální model DMU25 ve vertikálním kroku 5m. Podrobněji je konstrukce digitálního modelu reliéfu popsána v Kap. 2.2.1. Mapu výškových poměrů zobrazuje Obr. 3.9.



Obr. 3.9: Výškové poměry zájmového území

(Zdroj: DMÚ25)

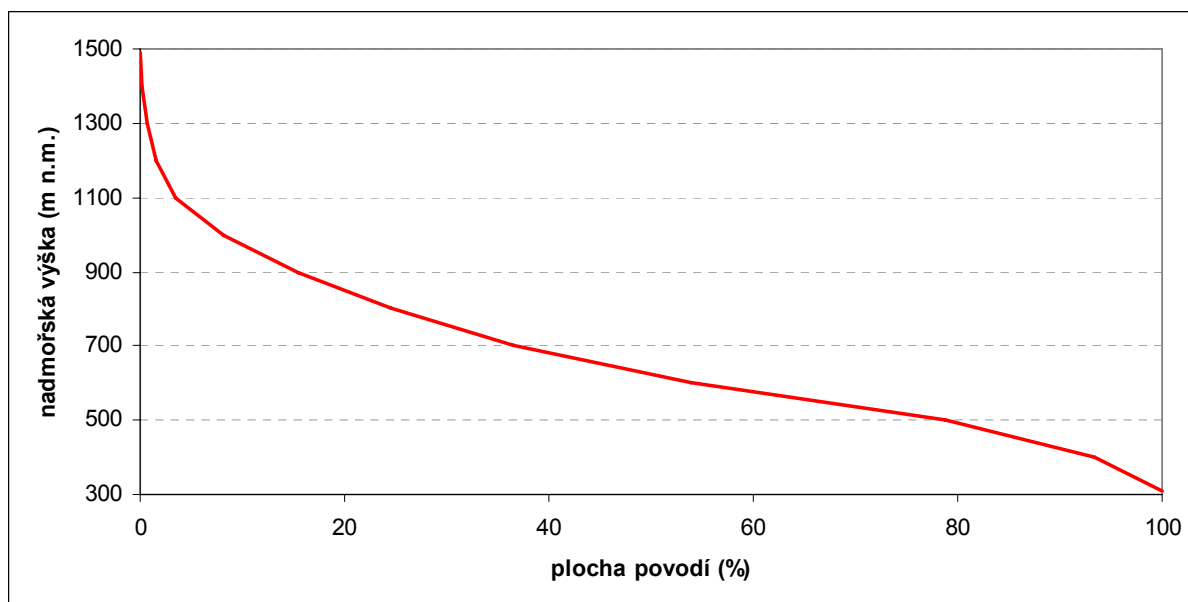
Nejvyšším bodem celého zájmového území je Praděd (1491,2 m) v Hrubém Jeseníku, nejnižší naopak leží dno Opavy v místě limnigrafické stanice v Krnově (311 m). Obr. 3.10 – 12 ukazují rozložení jednotlivých výškových pásem na celkové ploše povodí (poprvé pomocí sloupcového grafu, podruhé hypsografickou křivkou).



Obr. 3.10: Rozložení výškových stupňů

(Zdroj: DMÚ25)

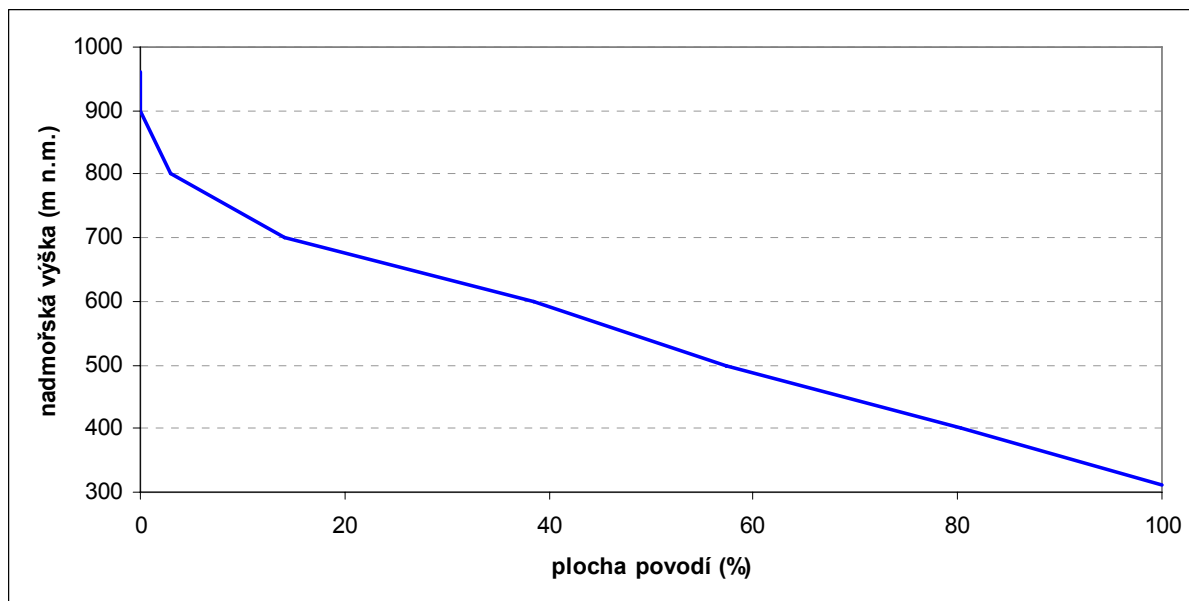
Grafy byly sestaveny pomocí nástroje Area and Volume v extenzi 3D Analyst softwaru ArcGIS. Hypsografická křivka povodí Opavy má typický průběh se strmějším počátkem a pozvolnějším koncem. 8 % povodí leží v nadmořských výškách přes 1000 m n.m. Střední výška povodí vypočtená nástrojem Zonal Statistics (extenze Spatial Analyst) činí 670 m.



Obr. 3.11: Hypsografická křivka povodí Opavy

(Zdroj: DMÚ25)

Křivka povodí Opavice má zpočátku mírnější průběh, ale poté klesá strměji než u Opavy. Je to dáno menším zastoupením vyšších nadmořských výšek a relativně vyrovnanými podíly nižších výškových stupňů. Střední výška povodí dosahuje 547 m.

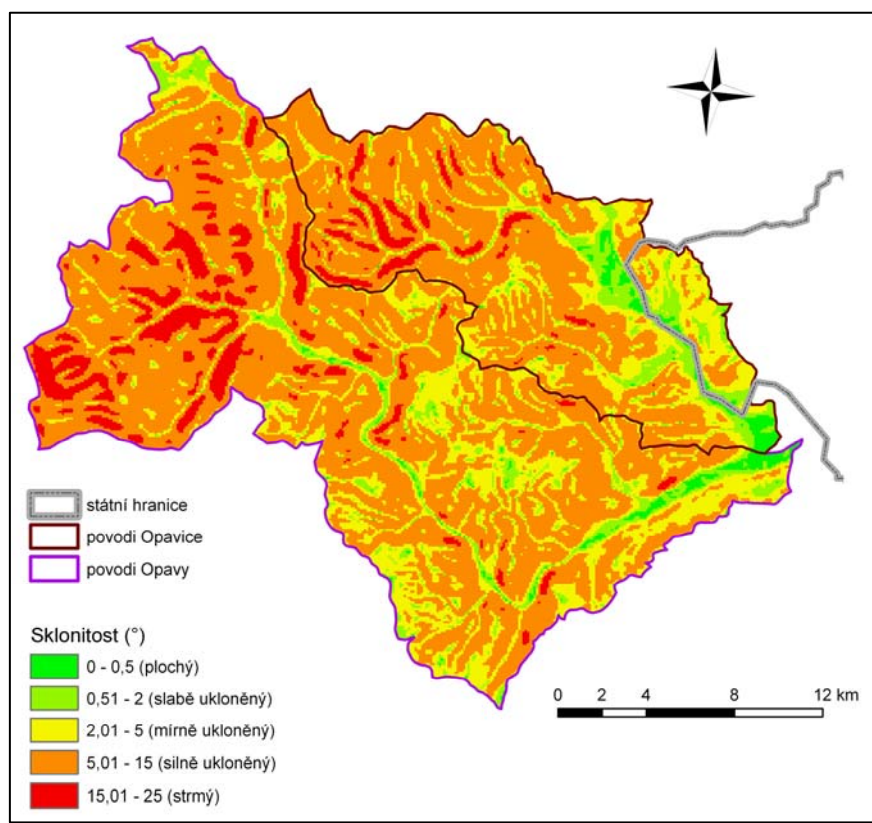


Obr. 3.12: Hypsografická křivka povodí Opavice

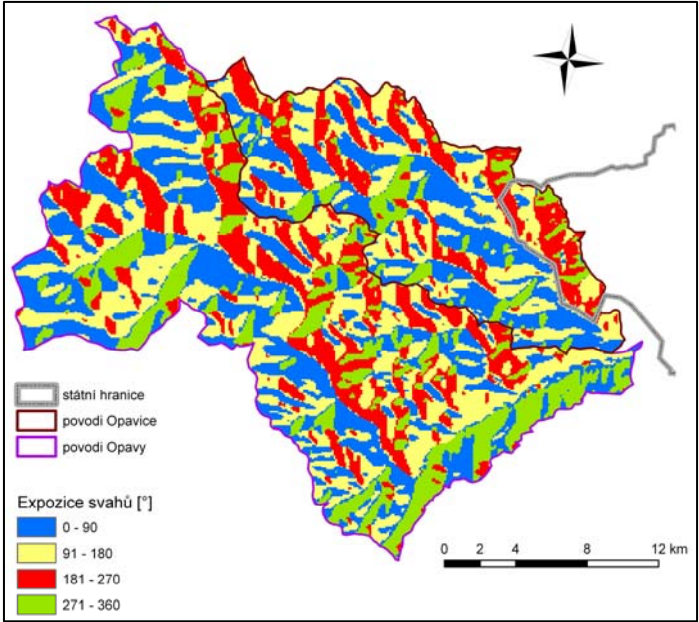
(Zdroj: DMÚ25)

Sklonitostní poměry v obou povodích ukazuje Obr. 3.13. K jeho konstrukci byl použit nástroj Slope ve Spatial Analystu. Obě povodí se ve své horní části vyznačují velkou sklonitostí, hlubokými údolními se strmými svahy a tím pádem i rychlejší tvorbou a koncentrací odtoku. V povodích převažují silně ukloněné svahy ($5 - 15^\circ$). Ploché reliéf najdeme pouze v údolních nivách obou řek nebo v oblasti horských rašelinišť u Rejvízu. Průměrný sklon povodí Opavy je $8,05^\circ$, v povodí Opavice činí o něco méně – $7,12^\circ$.

Z hlediska expozice svahů převažuje severovýchodní a jihovýchodní orientace. To potvrzuje Obr. 3.14 a kvantitativně i Tab. 3.2. Východní expozice svahů hraje důležitou roli při tvorbě srážek v teplém půlroce. V tomto období zde převažují severovýchodní cyklonální situace, při kterých srážky vypadávají na návětrné (východní) straně hor a tím zvyšují pravděpodobnost vzniku povodňových situací. Expozice svahů je proto jedním z důvodů náchylnosti povodí Opavy a Opavice na letní povodně. (Brázdil, Kirchner et al. 2007)



Obr. 3.13: Sklonitostní poměry
(Zdroj: DMÚ25)



Obr. 3.14: Expozice svahů
(Zdroj: DMÚ25)

Tab. 3.2: Procentuelní zastoupení orientací svahů

Expozice	Podíl plochy povodí (%)
SV	31,2
JV	30,7
JZ	21,4
SZ	16,6

(Zdroj: DMÚ25)

4. ODTOKOVÉ POMĚRY

4.1 Základní informace o povodích

Obě povodí byla pro účely diplomové práce omezena po limnigrafické stanice v Krnově (Opava-Krnov, Opavice-Krnov) a tudíž se veškeré výpočty a analýzy budou vztahovat k této ploše povodí. Jejich poloha je znázorněna na Obr. 3.7. Výběr povodí byl motivován možností srovnání srážkoodtokových poměrů ve dvou polohově blízkých oblastech, které se však od sebe určitým způsobem liší. Horní část povodí Opavy představuje srážkově bohatou oblast Hrubého Jeseníku s velkým převýšením a přírodě blízkou krajinou s minimálními antropogenními zásahy. Střední a dolní část povodí (od Vrbna pod Pradědem) již svým charakterem velmi připomíná povodí Opavice (ať už z fyzickogeografického hlediska, tak z pohledu krajinného pokryvu a antropogenního ovlivnění). Podrobnější přehled a porovnání obou povodí bylo uvedeno v Kap. 3.

Pro analýzy odtokového režimu byly použity řady průměrných denních průtoků Q_d z obou profilů za období 1953-2005. Datové podklady byly získány z Českého hydrometeorologického ústavu v Praze. V Tab. 4.1 je možné sledovat dlouhodobé ukazatele odtoku v obou povodích. Pro výpočty však muselo být sledované období zkráceno kvůli nedostatečně dlouhým časovým řadám klimatických prvků (kromě srážek byl obdobný problém také u řad teplot a sněhové pokrývky). V navazujících srážkoodtokových analýzách bylo proto nutné uvažovat pouze období 1962 – 2005.

Specifický odtok a odtokový součinitel dosahují nadprůměrných hodnot (v porovnání s ČR: $q_a = 6,1 \text{ l.s}^{-2}.\text{km}^{-2}$; $\varphi = 28,8 \%$), ale obecně odpovídají hodnotám typickým pro povodí Odry ($q_a = 9,9 \text{ l.s}^{-2}.\text{km}^{-2}$; $\varphi = 37,9 \%$). (ČHMÚ) V povodí Opavy se přirozeně vyskytují vyšší hodnoty, což je způsobeno kromě vyšších srážkových úhrnů a svažitéjšího terénu také sníženou propustností krystalického podkladu.

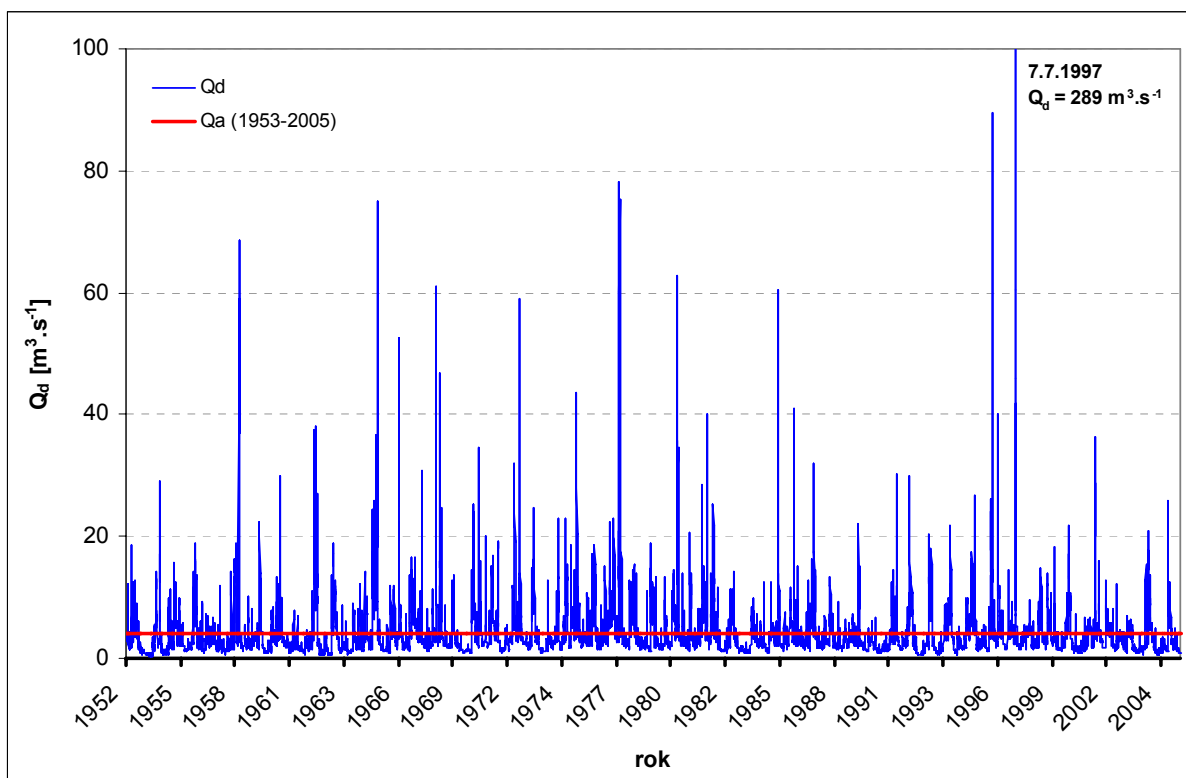
Tab. 4.1: Přehled dlouhodobých odtokových charakteristik (1962 – 2005)

DBČ	Stanice	Vodní tok	ČHP	Měří (od-)	P [km ²]	Q _a [m ³ /s]	H _s [mm]	H _o [mm]	q _a [l.s ⁻² .km ⁻²]	φ [%]
2630	Krnov	Opava	2-02-01-037	1953-	370,50	4,06	850	355	10,9	41,8
2650	Krnov	Opavice	2-02-01-056	1953-	175,52	1,37	776	251	7,8	32,3

(Zdroj: ČHMÚ, DMÚ25)

4.2 Režim denních průtoků a míra jejich rozkolísanosti

Prvotní přehled o změnách denních průtoků Q_d v čase představují jednoduché čáry průtoků – hydrogramy. Na Obr. 4.1 a 4.2 je možné sledovat hydrogramy Q_d na Opavě a Opavici od počátku systematického měření do roku 2005. Červená vodorovná čára představuje dlouhodobý průměrný průtok Q_a .



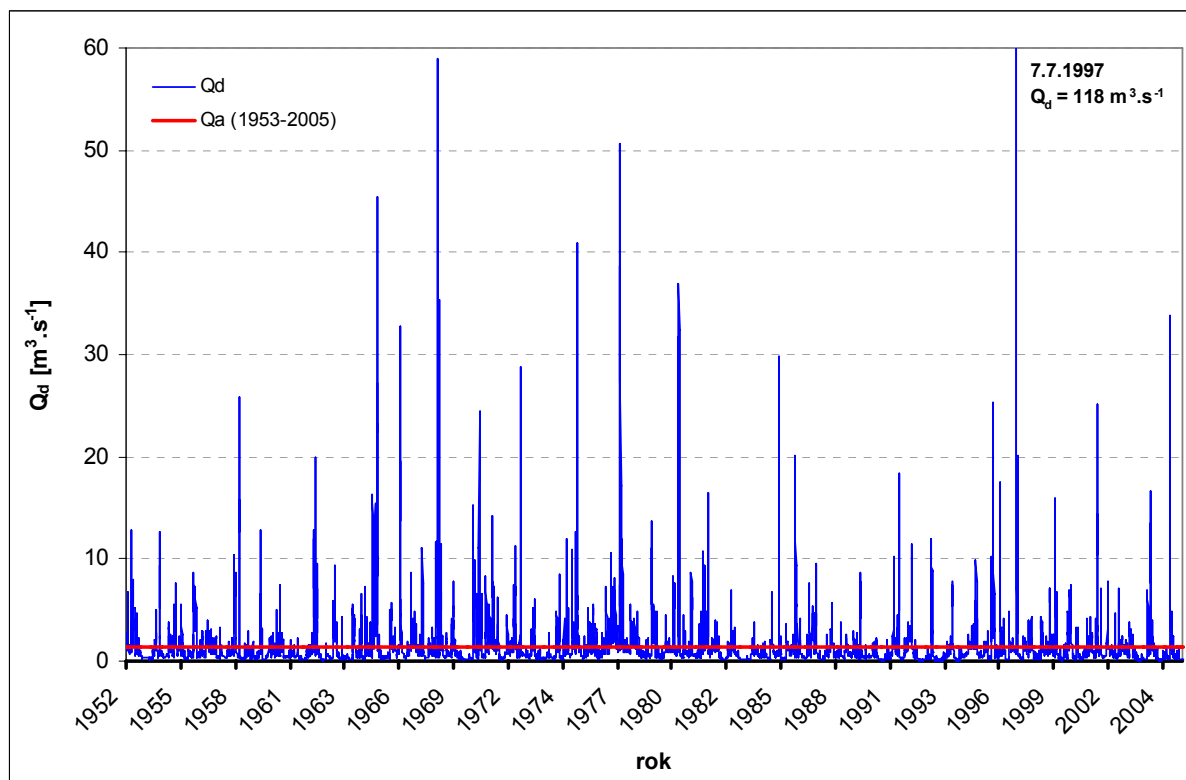
Obr. 4.1: Průměrné denní průtoky na Opavě (1953-2005)

(Zdroj: ČHMÚ)

Důležitou charakteristikou při popisování průtoků je jejich rozkolísanost. Obecně se dá tvrdit, že variabilita stoupá se zmenšující se plochou povodí. Navíc se větší výkyvy vodnosti předpokládají u horských a podhorských toků více než u toků nížinných. Jednoduchou představu o rozkolísanosti Q_d může dát **absolutní rozkolísanost průtoku**, která je vyjádřena poměrem mezi dosud největším a nejmenším pozorovaným průtokem.

Největší pozorovaný Q_d na Opavě během sledovaného období (1953 – 2005) byl zaznamenán 7.července 1997 a měl hodnotu $289 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Nejmenší Q_d byl naopak změřen 1.ledna 1954 a činil $0,25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Při poměření obou hodnot získáme absolutní rozkolísanost průtoku 1 : 1156. V případě Opavice byl absolutně největší Q_d změřen

rovněž 7.července 1997 a to $118 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Nejmenšího Q_d , konkrétně $0,027 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, bylo dosaženo v období 31.července – 7.srpna 1994. Absolutní rozkolísanost Q_d na Opavici je 1 : 4370 a tedy větší než na Opavě. Nejvíce rozkolísanou řekou České republiky bývá uváděna Cidlina (1 : 7350), v průměru se však absolutní rozkolísanost u českých řek pohybuje mezi 1 : 200 až 1 : 500. (ČHMÚ)



Obr. 4.2: Průměrné denní průtoky na Opavici (1953-2005)

(Zdroj: ČHMÚ)

Před volbou dalších statistických ukazatelů variability je třeba brát ohled i na rozdělení četností sledovaného jevu. Hydrologické jevy se většinou vyznačují pozitivně asymetrickým (zprava sešikmeným) rozdělením s velkou heterogenitou souboru a není pro ně vhodné volit statistické míry variability, jako je např. směrodatná odchylka. (Kühnl, Pavlík 1981) Pro ověření správnosti předpokladu, že sledované soubory Q_d nemají normální rozdělení byl proveden Kolmogorovův-Smirnovův test normality, o kterém je blíže pojednáno např. v Hendlovi (2004). Testuje se nulová hypotéza H_0 , která tvrdí, že náhodný výběr (X_1, \dots, X_n) pochází z normálního rozdělení, oproti alternativní hypotéze H_1 , která říká, že náhodný výběr z normálního rozdělení nepochází. Nulová hypotéza se zamítá, jestliže testovací statistika D je větší než tabelovaná kritická hodnota D_n na zvolené

hladině významnosti $\alpha = 0,05$. U obou náhodných výběrů musela být nulová hypotéza zamítnuta, tudíž obě řady Q_d nepochází z normálního rozdělení. To potvrdil i vypočtený koeficient asymetrie (šikmosti), který pro Opavu činil 18,87 a pro Opavici 13,98. Tím je vyjádřena převaha podprůměrných hodnot v souboru nad nadprůměrnými.

Z možných statistických měr variability byly aplikovány **variační koeficient**, **poměr průměrné odchylky od mediánu k mediánu** a **koeficient S_{x10}** , který vyjadřuje rozdíl odchylek 9.decilu od mediánu a 1.decilu od mediánu dělený součtem těchto odchylek, tj. rozdílem obou decilů. Výsledky všech koeficientů jsou uvedeny v tabulce Tab. 4.2. Podle nich je patrné, že Opavice trpí větší rozkolísaností Q_d než Opava, což je pravděpodobně dáno velikostí povodí.

Tab. 4.2: Statistické míry variability Q_d

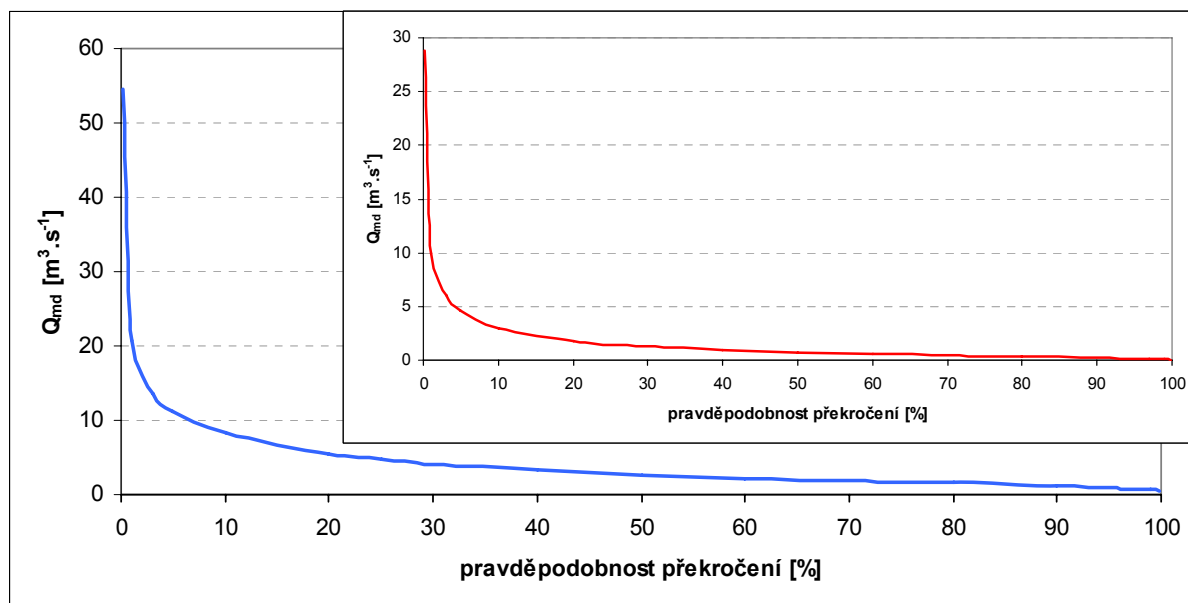
Míry variability souboru	Opava	Opavice
variační koeficient	1,30	1,82
poměr průměrné odchylky od mediánu k mediánu	0,88	1,40
koeficient S_{x10}	0,58	0,65

(Zdroj: ČHMÚ)

Důležitou charakteristikou odtokových poměrů na toku jsou průměrné křivky překročení Q_d . Jejich průběh na obou sledovaných tocích je znázorněn na Obr. 4.3. V případě, že bychom chtěli porovnávat více křivek najednou, je třeba převést hodnoty průtoků na ose pořadnic do relativní podoby (Q_{di}/Q_a popř. Q_r). (Dub et al. 1957) Příloha 1 srovnává křivky překročení obou sledovaných toků. Hodnoty odvozené z křivek překročení jsou obvykle uváděné i tabelárně. V Tab. 4.3 jsou uvedeny hodnoty průtoků překročených v průměru za určitý počet dní v roce – M-denní průtoky (Q_{Md}).

Obě křivky potvrzují dosavadní tvrzení o rozkolísanosti. Je zjevné, že po většinu roku převažují na obou povodích podprůměrné průtoky, což dokazuje pozitivní šikmost rozdělení. V takovýchto případech je podle Kühnla a Pavlíka (1981) významnější mírou polohy pro charakteristiku velikosti proměnných veličin modus (namísto častěji užívaných průměru nebo mediánu). Hodnoty modu činí pro Opavu $1,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a pro Opavici $0,42 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, což jsou velmi podprůměrné hodnoty. Dub et al.

(1957) uvádí, že průměrný roční průtok bývá na našich tocích překračován zpravidla po dobu 3 – 4 měsíců v roce. Když vezmeme v úvahu, že by průměrný roční průtok v našem případě suploval dlouhodobý průměrný průtok (Q_a), pak je na Opavě překračován v průměru 110 dní v roce a na Opavici 98 dní.



Obr. 4.3: Průměrné křivky překročení Q_d pro Opavu (modrá) a Opavici (červená)

(Zdroj: ČHMÚ)

Tab. 4.3: M-denní průtoky (Q_{md}) v povodí Opavy a Opavice (1953-2005)

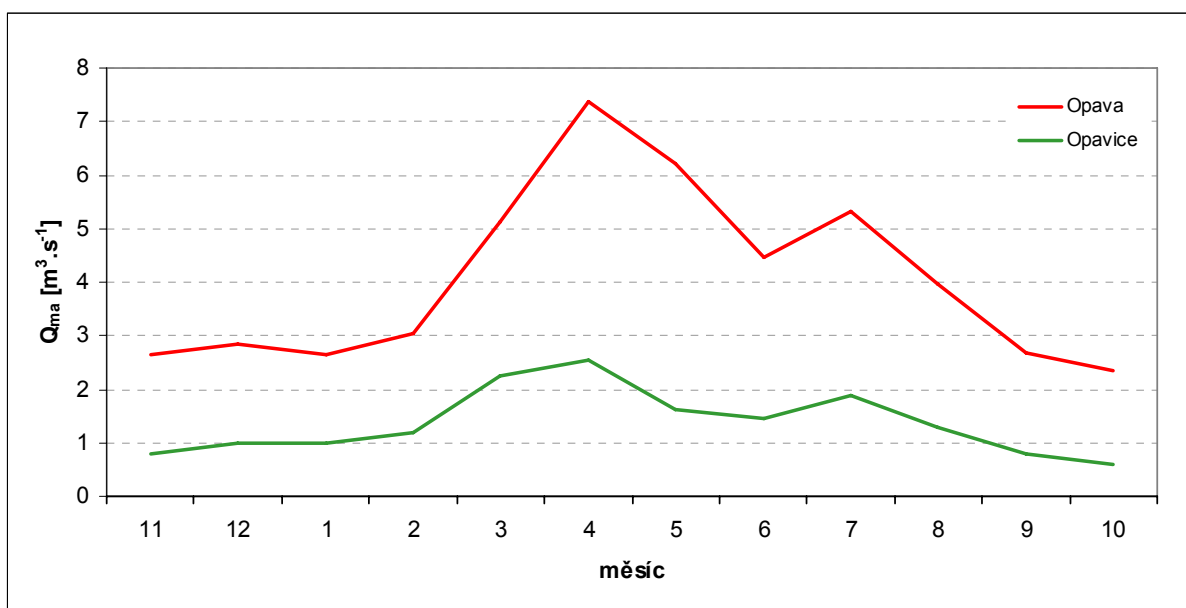
Vodní tok	$Q_{md} [m^3 \cdot s^{-1}]$												
	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Opava	9,11	6,33	4,76	3,80	3,17	2,69	2,33	2,01	1,77	1,49	1,19	0,82	0,55
Opavice	3,39	2,07	1,50	1,15	0,90	0,72	0,59	0,48	0,39	0,30	0,22	0,12	0,04

(Zdroj: ČHMÚ)

4.3 Režim měsíčních a sezónních průtoků

Průměrné měsíční průtoky (Q_m) znázorňují jednoduchým způsobem rozložení vodnosti během roku. Na Obr. 4.4 je možné sledovat časový průběh dlouhodobých měsíčních průtoků (Q_{ma}) v povodí Opavy a Opavice vypočtených za období 1953 – 2005. Obě křivky mají v podstatě shodný průběh. Dlouhodobě dosahují během roku jak Opava, tak Opavice největší vodnosti v dubnu, přičemž se později vyskytuje ještě podružné maximum v červenci. (Příloha 2) Dubnové maximum lze přičíst odtávající sněhové pokrývce z vrcholových částí povodí, která zůstává

v nejvyšších partiích Jeseníků ve významných mocnostech mnohdy až do května. Červencové zvýšení vodnosti je podmíněno vyššími srážkovými úhrny, které souvisí s převažujícím výskytem cyklonálních situací přicházejících od V až SV. Při východním proudění navíc dochází k zesilování srážek vlivem návětrného efektu Hrubého Jeseníku a k možnosti vzniku povodňových situací. (Brázdil et al. 2005) Nejmenší měsíční průtoky jsou naopak zaznamenávány v říjnu a obecně v zimních měsících, kdy je většina srážek akumulována ve sněhové pokrývce.



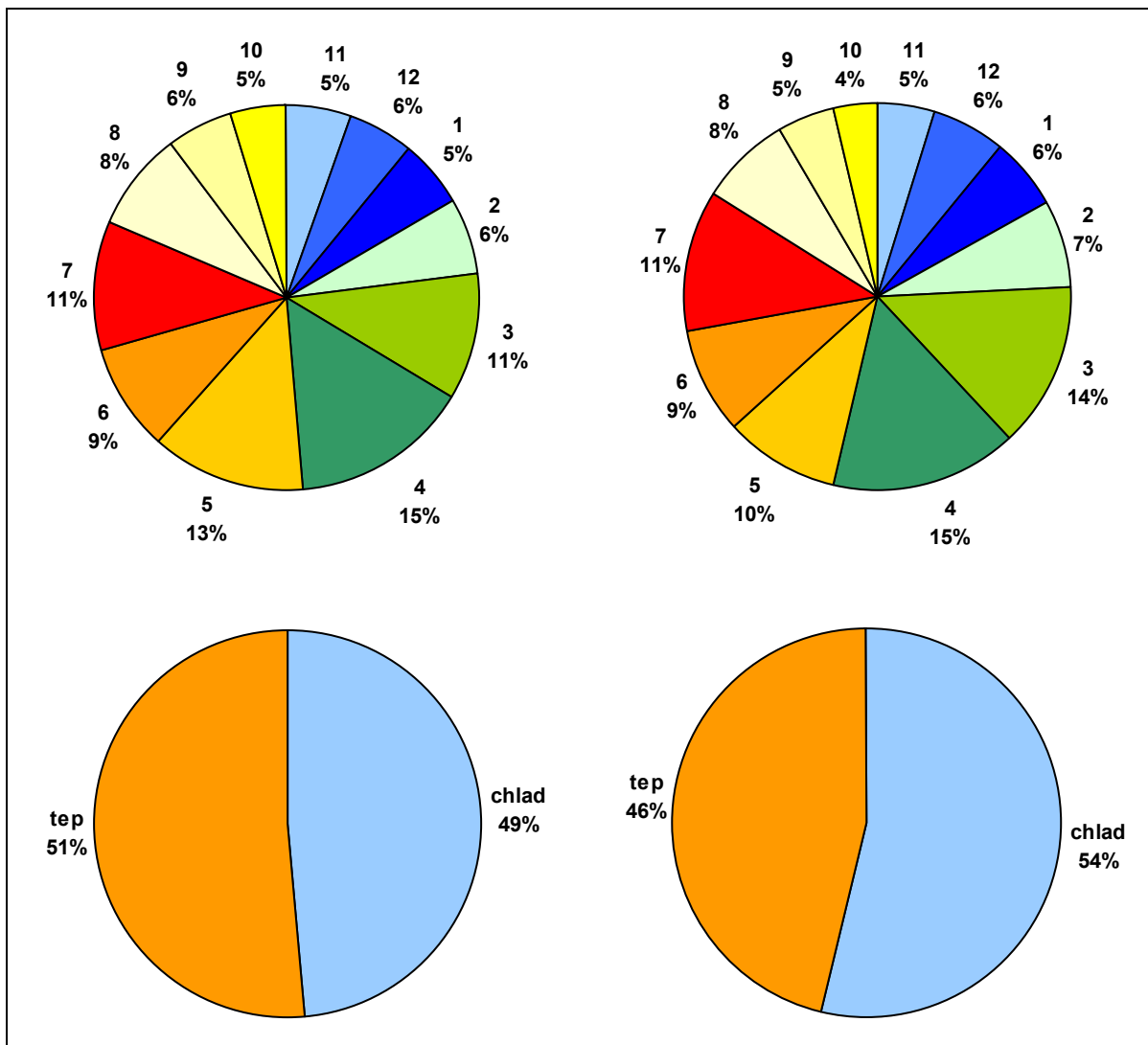
Obr. 4.4: Dlouhodobý měsíční průtok v povodí Opavy a Opavice (1953-2005)

(Zdroj: ČHMÚ)

Z pohledu rozložení odtoku během roku dominují jarní měsíce duben (Opava 15,2 %; Opavice 15,5 %) a březen (Opava 10,5 %; Opavice 13,8 %). U Opavy přispívá kvůli opožděnému tání sněhové pokrývky výraznější měrou také květen (12,7 %). Kvůli výše uvedeným okolnostem hraje důležitou roli v příspěvku ročního odtoku také červenec (Opava 10,9 %; Opavice 11,4 %). (Obr. 4.5)

Zaměříme-li se na sezónní rozložení odtoku, můžeme vidět mezi oběma povodími malý rozdíl, který se již projevil u měsíčních průtoků. U Opavy nepatrně převažuje odtok v teplém půlroce (51,3 %), u Opavice naopak více vody odtéká v chladném půlroce (53,5 %). Pomyslným jazýčkem na vahách je právě zmiňovaný měsíční odtok v květnu, který v povodí Opavy přispívá k dominanci teplého půlroku.

V povodí Opavice je tento nepoměr vyrovnáván zvýšeným odtokem v březnu, který však náleží chladnému půlroku.

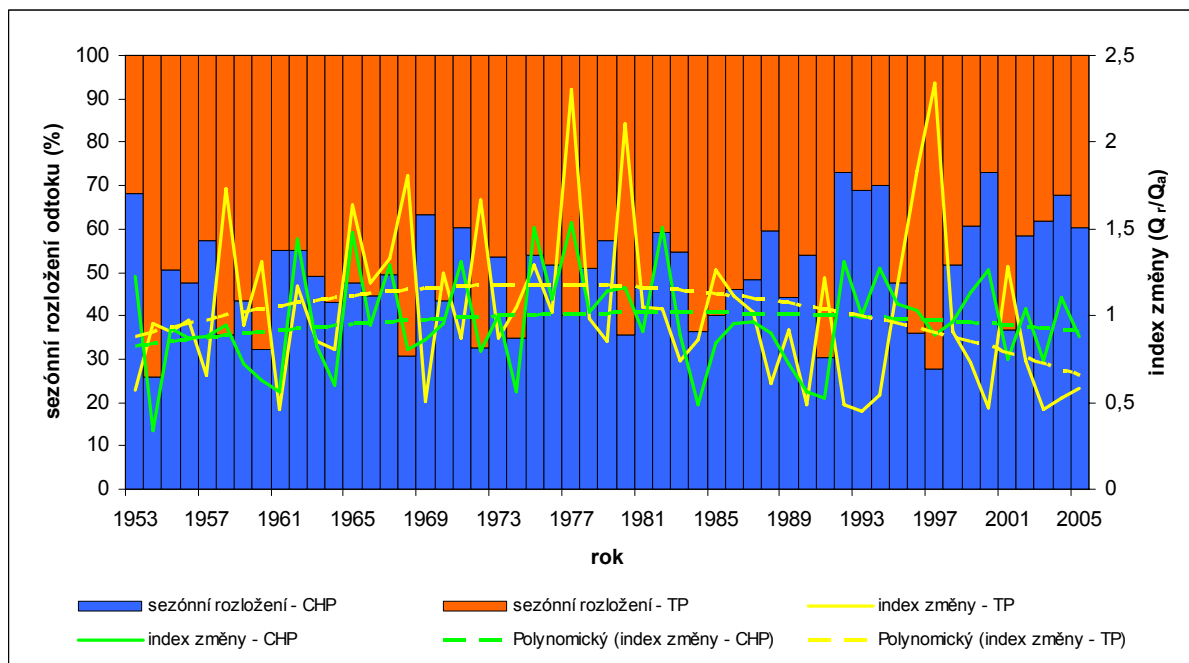


Obr. 4.5: Rozložení odtoku v průběhu roku (vlevo – Opava, vpravo – Opavice)

(Zdroj: ČHMÚ)

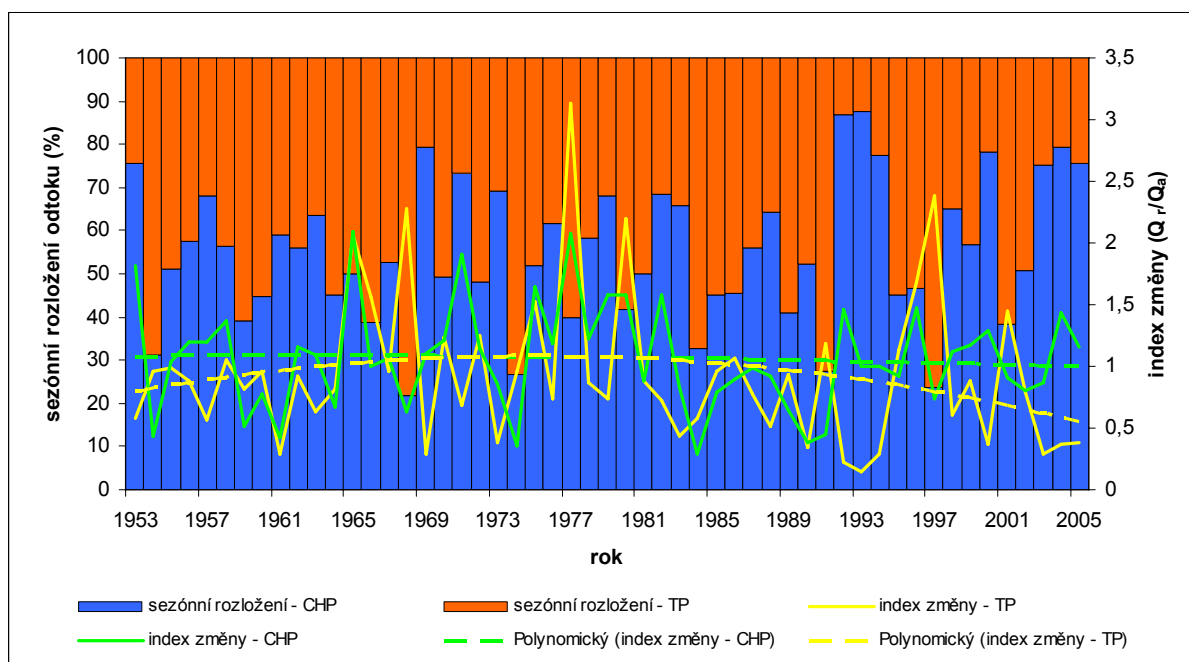
Ze srovnání jednotlivých ročních sezón během sledovaného období vyplývá, že dochází ke zvyšování odtoku v chladném půlroce na úkor letních měsíců. Patrné je to hlavně v povodí Opavy, kde za posledních zhruba 50 let pokleslo množství odtoku v létě o necelých 8 %. Nárůst odtoku v chladném půlroce je výrazněji zaznamenáván od přelomu 80. – 90.let (s výjimkou roku 1997), což může být způsobeno teplejším klimatem provázeným dřívějším táním sněhové pokrývky a častějšími srážkami v podobě deště. (Obr. 4.6 a 4.7) V povodí Opavice je rozdíl ještě výraznější, což pravděpodobně souvisí s nižší průměrnou nadmořskou výškou

povodí. Část srážek ve formě sněhu se na svazích neudrží tak dlouho jako v nejvyšších polohách Hrubého Jeseníku, odtává a podílí se dříve na celkovém odtoku. Odtok v teplém půlroce převažuje většinou v povodňových letech, konkrétně je možné jmenovat roky 1997, 1977 nebo 1968.



Obr. 4.6: Změny sezónního rozložení odtoku na Opavě (1953-2005)

(Zdroj: ČHMÚ)



Obr. 4.7: Změny sezónního rozložení odtoku na Opavici (1953-2005)

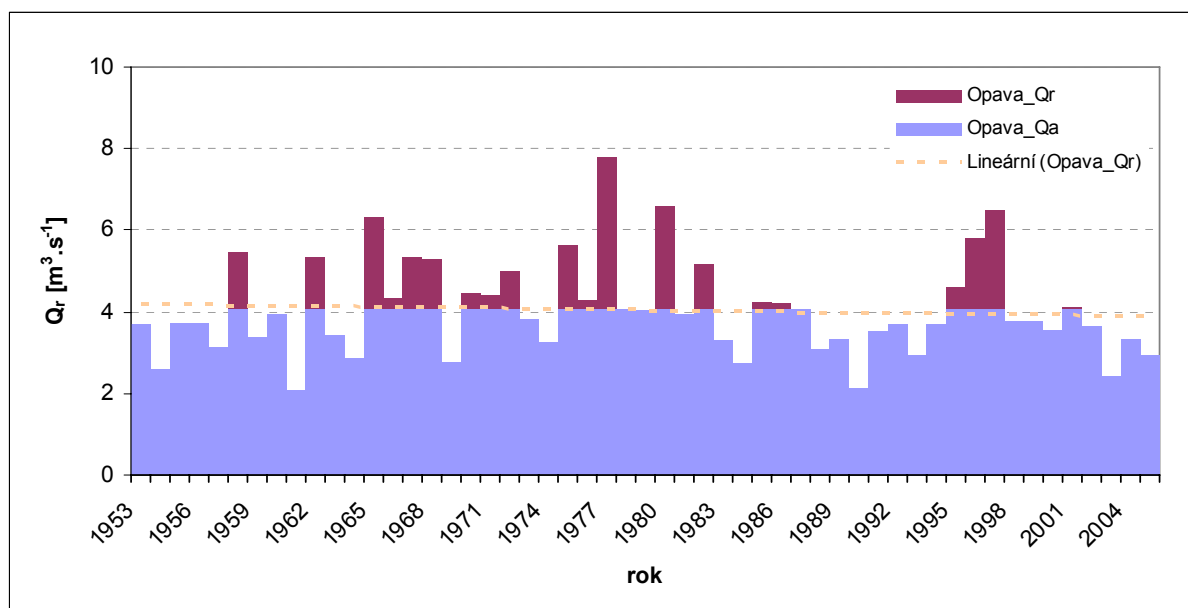
(Zdroj: ČHMÚ)

Variabilitu měsíčních průtoků lze také hodnotit statistickými koeficienty. Jedním z nich je **koeficient K_r** , který je založen na poměrném zastoupení měsíčních průtoků v roce. Čím je koeficient K_r větší, tím je vyrovnanost odtoku v roce menší. Hodnoty pro sledovaná povodí jsou následující: Opava 4,06; Opavice 4,31. Komplexněji je možné variabilitu souboru určit **variačním koeficientem C_v** nebo **poměrem průměrné odchylky od mediánu k mediánu**. Použitím těchto statistických ukazatelů neztrácíme informaci zprůměrováním hodnot a výsledek by tedy měl být průkaznější než v případě koeficientu K_r . Vypočtené hodnoty pro všechny Q_m – pro Opavu (C_v 0,84 a odchylka od mediánu 0,72) a pro Opavici (C_v 1,11 a odchylka od mediánu 1,03) – potvrzují větší rozkolísanost měsíčních průtoků v povodí Opavice. Podle variačního koeficientu je proměnlivost Q_m nejmenší v dubnu a březnu, nejvíce rozkolísané jsou naopak vodní toky v červenci a srpnu.

4.4 Režim ročních průtoků

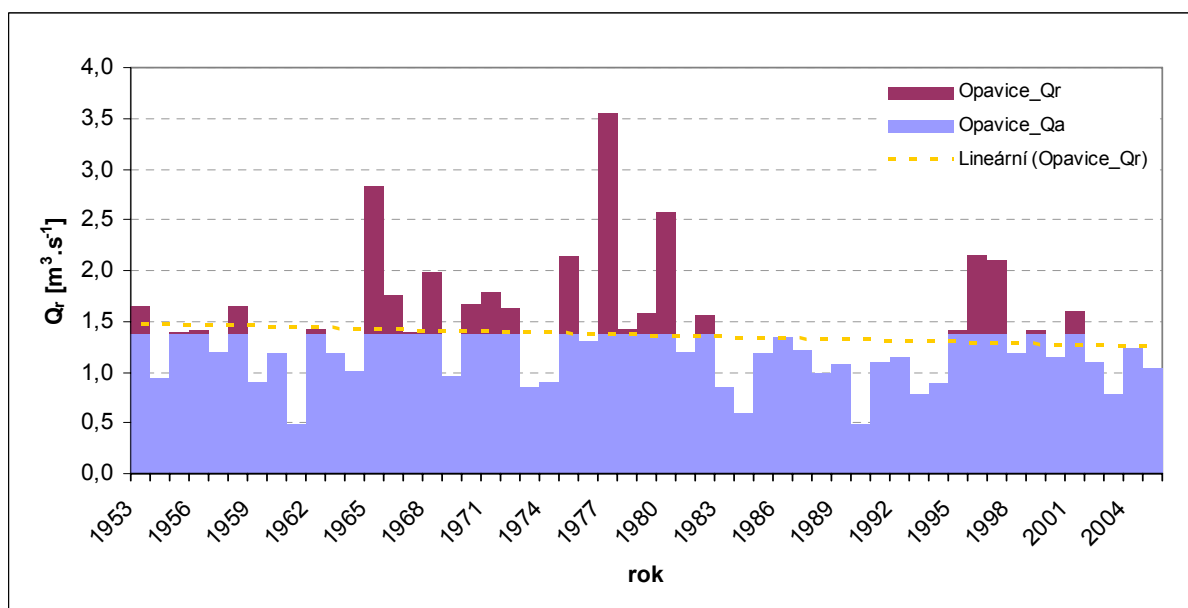
Hlavním zdrojem vodnosti našich toků jsou atmosférické srážky, mnohem méně se pak na napájení vodních toků podílejí podpovrchové vody. Příjmová složka atmosférických srážek je v čase velmi proměnlivá a v závislosti na ní se projevuje odtokový režim. Na Obr. 4.8 a 4.9 můžeme sledovat postupný vývoj průměrných ročních průtoků (Q_r) v povodí Opavy a Opavice ve sledovaném období 1953 – 2005 s vyznačeným dlouhodobým lineárním trendem.

Režim odtoku je v obou povodích velmi podobný. Na obou grafech je patrný klesající trend odtoku. Tento jev je způsoben poklesem ročních průtoků od poloviny 80.let, kdy se konkrétně od roku 1983 do roku 2005 vyskytlo na Opavě pouze sedm nadprůměrně vodných let a na Opavici dokonce jen pět. Pozoruhodné je, že nejméně vodným rokem v obou povodích se stal rok 1961. Z opačného hlediska je nutno podotknout, že tomuto podprůměrně vodnému období předcházela jen o dva roky kratší nadprůměrně vodná perioda (s nejvodnějším rokem 1977), která se naopak vyznačovala malým počtem podprůměrných let (Opava osm let, Opavice sedm let). Bylo by zajímavé sledovat, zda toto periodické střídání vodných a málo vodných období probíhá v nějakých dlouhodobějších cyklech nebo se jedná pouze o časovou anomálii. K potvrzení vyřčené domněnky by ale bylo zapotřebí delších časových řad.



Obr. 4.8: Průměrný roční průtok (Q_r) na Opavě v období 1953-2005

(Zdroj: ČHMÚ)



Obr. 4.9: Průměrný roční průtok (Q_r) na Opavici v období 1953-2005

(Zdroj: ČHMÚ)

Vodnost toků v jednotlivých letech lze opět vyjádřit také statistickou měrou – **pravděpodobností překročení P [%]**, příp. **dobou opakování N** . Pravděpodobnost překročení je ordinální charakteristikou závislou na sestupně uspořádaném pořadí Q_r . Je možné ji vypočítat podle různých vzorců (Hazen, Weibull, Čegodajev, Gringorten), které uvádí mj. Dub et al. (1957). Pro naše účely byl zvolen postup podle Weibulla:

$$P = \frac{m}{n+1} \cdot 100 \quad [\%]$$

kde m je pořadí Q_r uspořádaných sestupně podle velikosti a n počet členů řady Q_r .

Podle pravděpodobnosti překročení stanovujeme i slovní hodnocení vodnosti toků (Řehánek, Kříž 2002; Podlaha 2003). Pro povodí Opavy a Opavice je uvedeno v Příloze 3 a 4. Na obou tocích byl během období přístrojového měření nejvodnějším rokem rok 1977, jehož hodnota může být v průměru překročena jednou za 54 let. Nejsušším rokem byl naopak rok 1961, který může být průměrně překračován téměř každý rok.

Rozkolísanost Q_r byla opět hodnocena pomocí **variačního koeficientu C_v** a ***poměru průměrné odchylky od mediánu k mediánu***. Oba soubory průtoků se jeví vcelku vyrovnaně, přičemž u Opavice byla opět detekována o něco větší variabilita.

- Opava: C_v 0,34 odchylka od mediánu k mediánu 0,23
- Opavice: C_v 0,41 odchylka od mediánu k mediánu 0,32

4.5 Shrnutí odtokových poměrů

Režim odtoku v obou povodích má mnoho společných rysů a liší se pouze v některých detailech vycházejících z odlišné fyzickogeografické charakteristiky. Nezávisle na časovém měřítku se několikrát potvrdila větší rozkolísanost průtoků v povodí Opavice. To je primárně způsobeno menší plochou povodí Opavice a tím pádem rychlejší odtokovou odezvou na spadlé srážky. Může k tomu přispívat také větší podíl ekologicky nestabilních ploch, které nejsou tak účinné při retardaci odtoku.

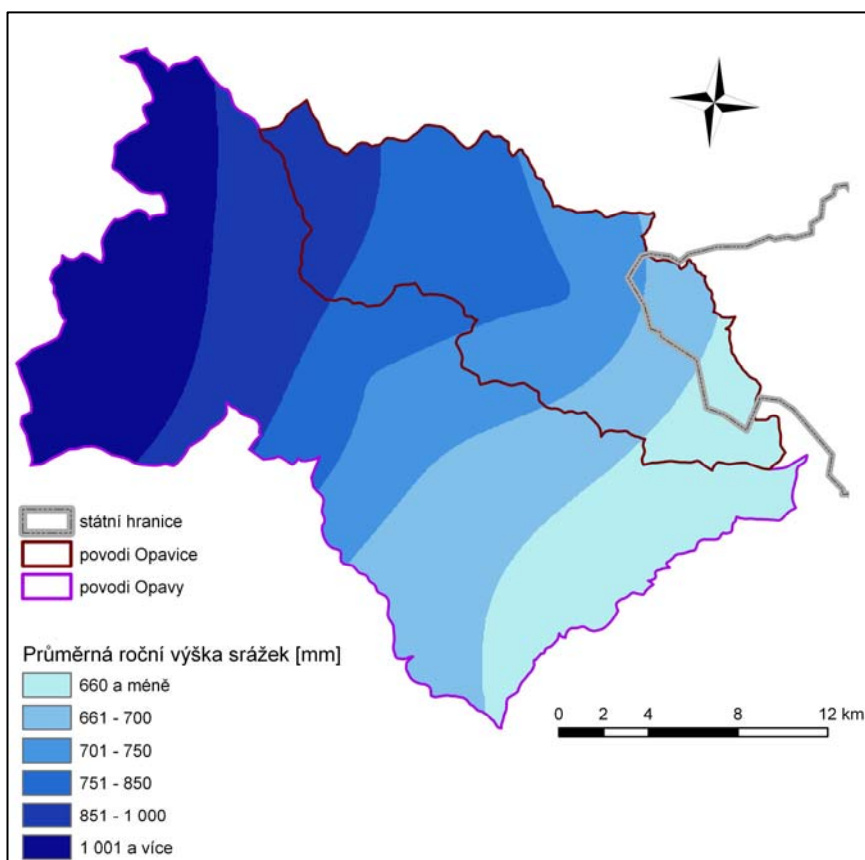
V režimu měsíčních průtoků byl zaznamenán rozdíl v odtoku z tání sněhu. Na Opavici se vyskytuje největší odtok v dubnu a březnu, zatímco na Opavě se posouvá období největšího odtoku na duben a květen. Zapříčiňuje to delší setrvání sněhové pokrývky ve vyšších partiích Hrubého Jeseníku, která odtává pomaleji a vodní zásoby akumulované ve sněhu významně přispívají průtokům v Opavě ještě v květnu. Z pohledu rozkolísanosti měsíčních průtoků je na Opavě nejproměnlivější červenec, na Opavici se tak děje o měsíc později v srpnu. Nejvyrovnaněji se v obou povodích jeví duben následován březnem.

5. KLIMATICKÉ POMĚRY

5.1 Obecná charakteristika srážek

Srážky jsou v povodí Opavy a Opavice typické značnou prostorovou a časovou proměnlivostí, která je dána interakcí fyzikálních procesů jejich vzniku, atmosférickou cirkulací a fyzickogeografickými charakteristikami tohoto území. Prostorové rozdíly jsou navíc zvýrazněny orografickými faktory, k nimž patří hlavně zvyšování množství srážek s růstem nadmořské výšky a vlivy expozice, kdy s ohledem na směr proudění mají návětrné svahy vyšší úhrny než svahy závětrné.

V geografickém rozložení srážek připadají nejvyšší měsíční, sezónní a roční úhrny na vrcholové polohy Hrubého Jeseníku. Významou roli zde hraje orografické zesílení srážek související s nadmořskou výškou a návětrnou polohou. Naproti tomu nejsušší oblastí jsou dolní části obou toků, které se nachází v závětrří Hrubého a Nízkého Jeseníku. (Obr. 5.1)



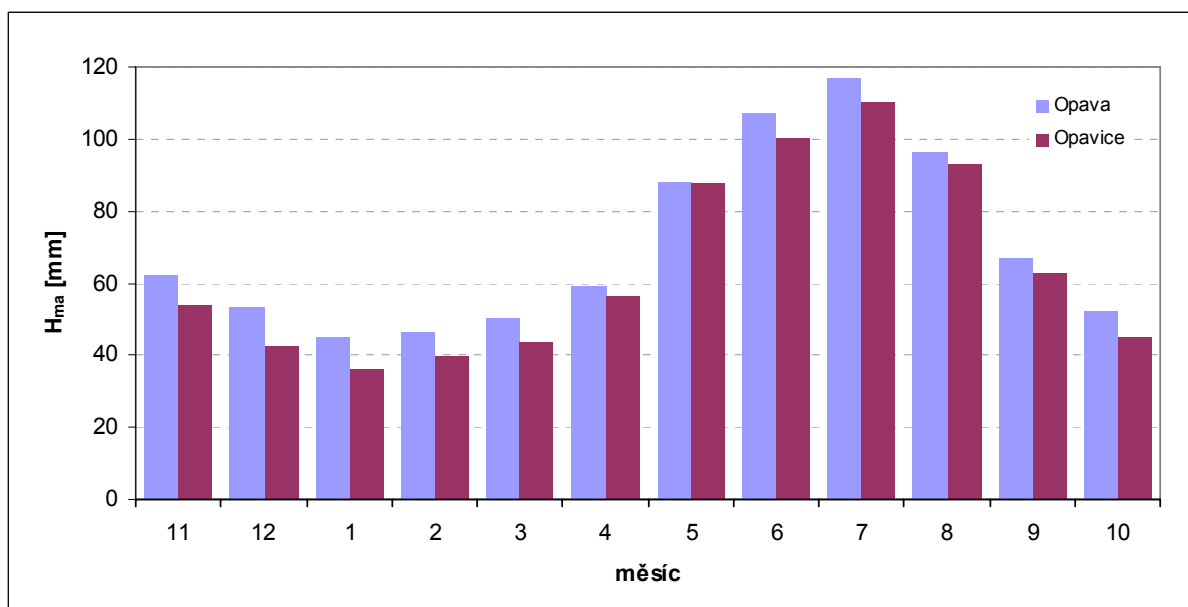
Obr. 5.1: Průměrná roční výška srážek (1962-2006)

(Zdroj: ČHMÚ)

5.1.1 Měsíční a sezónní rozložení srážek

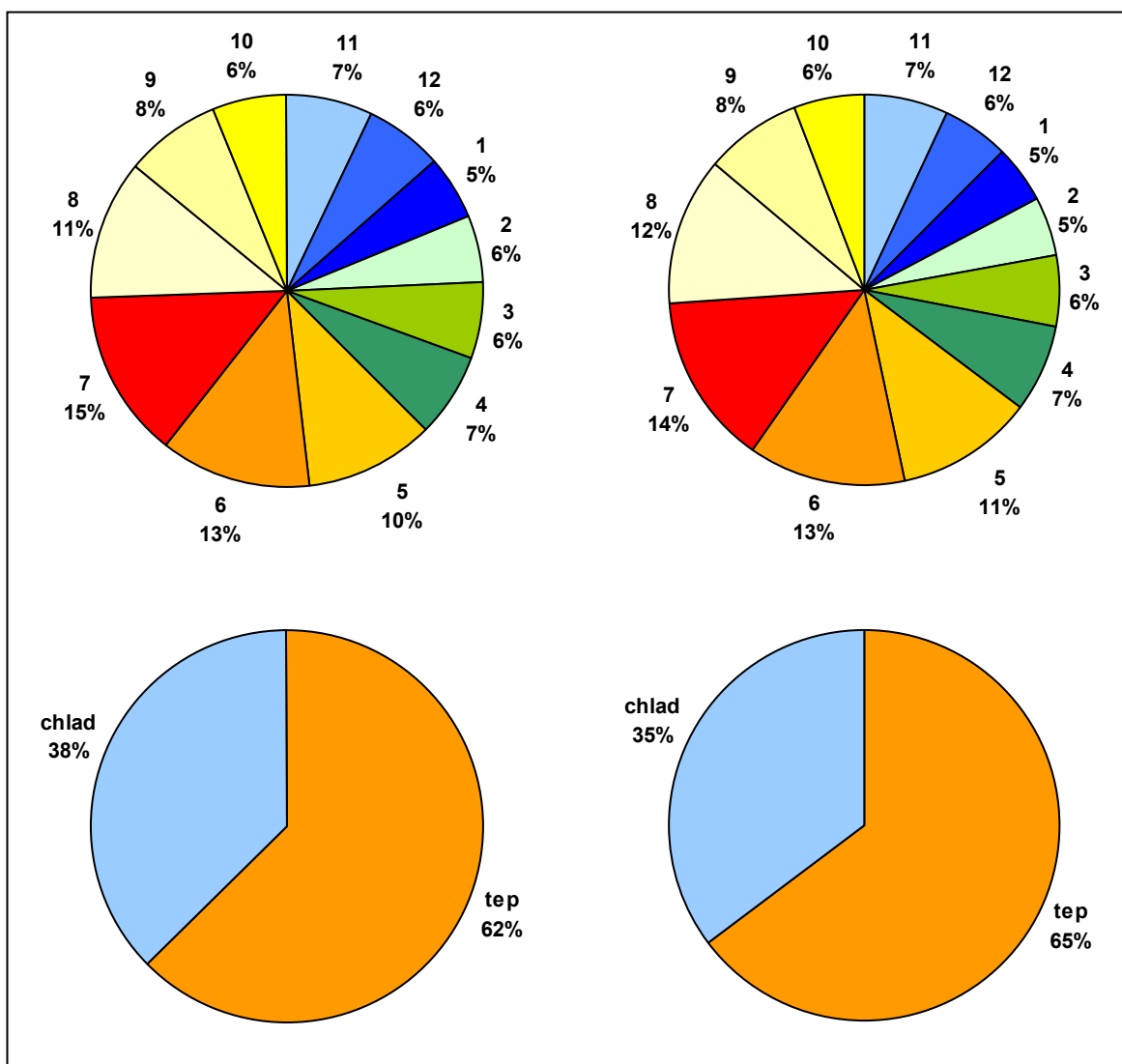
Na Obr. 5.2 je prezentováno rozložení dlouhodobých měsíčních výšek srážek (H_{ma}) v hydrologickém roce na povodí Opavy a Opavice v období 1962 – 2006. Srážky se vyznačují poměrně velkou variabilitou v rámci jednotlivých měsíců a rozdíl mezi nejsušším a srážkově nejbohatším měsícem je téměř trojnásobný. Kvantitativně spadne podle očekávání více srážek na povodí Opavy, kvůli již několikrát zmiňovanému orografickému zesílení a návětrnému efektu Hrubého Jeseníku. Pouze květnová výška srážek je na obou povodích zhruba vyrovnaná. Tento fakt by mohl být podpořen četnějším výskytem srážek konvekčního typu, které nejsou závislé na nadmořské výšce, ale naopak je pro jejich vývoj potřebná vyšší teplota vzduchu. Tuto domněnku by bylo třeba potvrdit např. analýzou četnosti výskytu bouřek, která ale není náplní této práce.

Rozdíl v rozložení srážek během roku na obou povodích není nijak zásadní. Polovina srážek v roce spadne za čtyři nejteplejší měsíce (květen, červen, červenec a srpen), z toho nejvíce v červenci (13,8 % na Opavě; 14,3 % na Opavici). Nejsušší jsou naproti tomu zimní měsíce leden (5,4 % na Opavě; 4,7 % na Opavici) a únor (5,5 % na Opavě; 5,1 % na Opavici). (Obr. 5.3) Z výše řečeného jasně vyplývá, že většina srážek na povodí Opavy a Opavice spadne v teplém půlroce, konkrétně 65 % na Opavě a 62 % na Opavici.



Obr. 5.2: Dlouhodobá měsíční výška srážek (1962-2006)

(Zdroj: ČHMÚ)



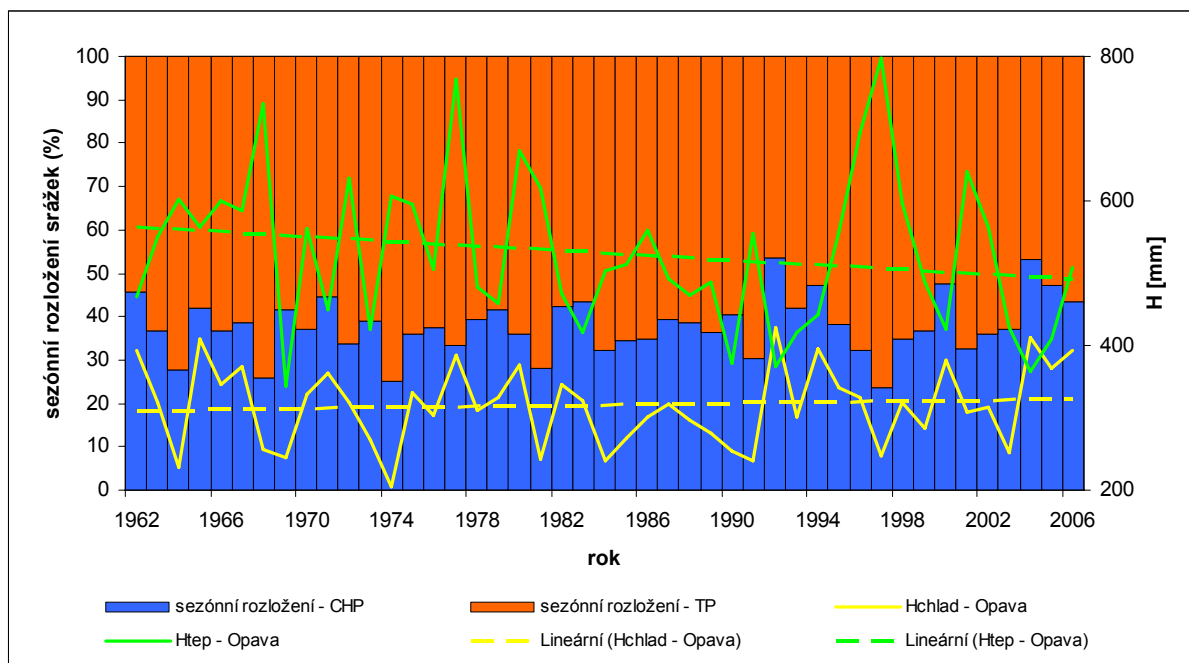
Obr. 5.3: Rozložení srážek během roku (vlevo – Opava, vpravo – Opavice)

(Zdroj: ČHMÚ)

Absolutního měsíčního maxima bylo dosaženo v červenci povodňového roku 1997, kdy za 31 dní napršelo na celém povodí Opavy 458 mm. Na povodí Opavice to bylo jen o 21 mm méně, tedy 437 mm. Nejsušším měsícem za sledované období 1962 – 2006 byl na Opavě prosinec 1973 a na Opavici březen 1974. Tyto extrémy napovídají, že chladný půlrok 1974 byl během tohoto údobí na obou povodích nejsušší (v povodí Opavy spadlo pouze 204 mm a v povodí Opavice dokonce jen 149 mm). Teplý půlrok 1997 byl absolutně nejvlhčím jen v povodí Opavy (797 mm), v povodí Opavice jej předčil teplý půlrok 1968 (765 mm).

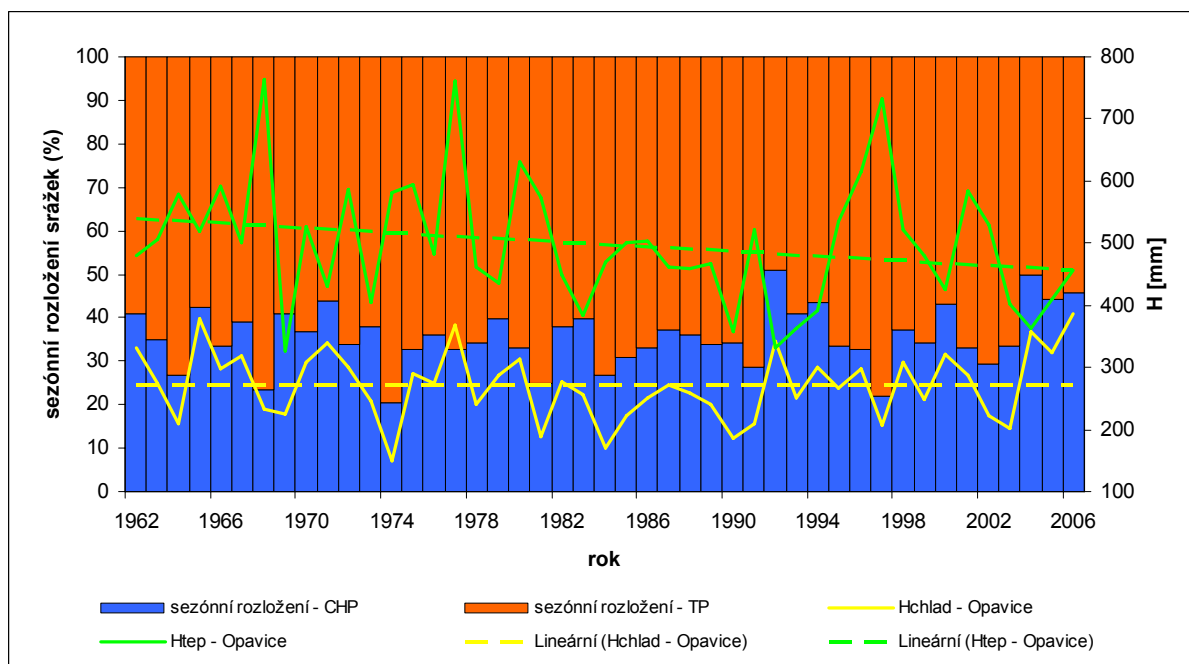
Tato fakta jsou zřejmá z Obr. 5.4 a 5.5, které ukazují sezónní rozložení srážek a jejich dlouhodobý vývoj v chladném a teplém půlroce. Můžeme si povšimnout, že v pozorovaném období dochází na obou povodích k drobnému poklesu srážek

v teplém půlroce, který je kompenzován mírným nárůstem srážek v zimním půlroce (na Opavici ale téměř stagnace). V povodí Opavy se za posledních 15 let dokonce ve dvou případech (roky 1992 a 2004) přihodilo, že chladný půlrok byl vlhčí než teplý (v povodí Opavice tato situace nastala v roce 1992). Tento fenomén se v předchozích 30 letech neudál ani jednou.



Obr. 5.4: Změny v sezónním rozložení srážek na povodí Opavy (1962-2006)

(Zdroj: ČHMÚ)



Obr. 5.5: Změny v sezónním rozložení srážek na povodí Opavice (1962-2006)

(Zdroj: ČHMÚ)

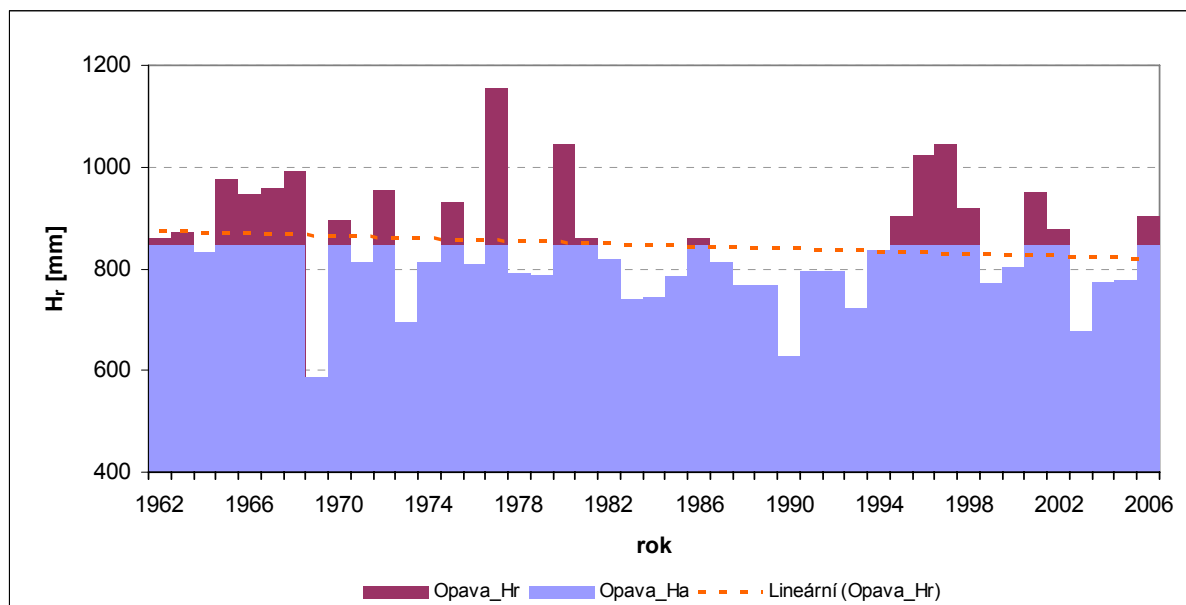
Variabilita všech H_m na Opavě a Opavici byla opět sledována **variačním koeficientem a poměrem průměrné odchylky od mediánu k mediánu**. Oba koeficienty potvrdily heterogenitu obou souborů s o něco větší variabilitou H_m na Opavici.

- Opava: C_v 0,62 odchylka od mediánu k mediánu 0,51
- Opavice: C_v 0,68 odchylka od mediánu k mediánu 0,56

Podle jednotlivých měsíců je srážkově nejvyrovnanější červen následován listopadem, největší proměnlivost H_m je naproti tomu typická pro červenec a říjen.

5.1.2 Vývoj ročních výšek srážek

Vývoj ročních výšek srážek (H_r) je prezentován na Obr. 5.6 a 5.7. Pro snazší identifikaci nadprůměrných a podprůměrných let je na nich opět vyznačena průměrná roční výška srážek, kterou doprovází křivka lineárního trendu H_r za období 1962 – 2006. U obou povodí má křivka klesající tendenci, přičemž u povodí Opavice má o něco strmější průběh. Srážek tedy v povodí obecně ubývá, na čemž se podílí především teplý půlrok (viz Kap. 5.1.1). Výraznější srážkový deficit v povodí Opavice je zapříčiněn větším úbytkem srážek v teplém půlroce, který však není v chladném půlroce téměř doplňován.

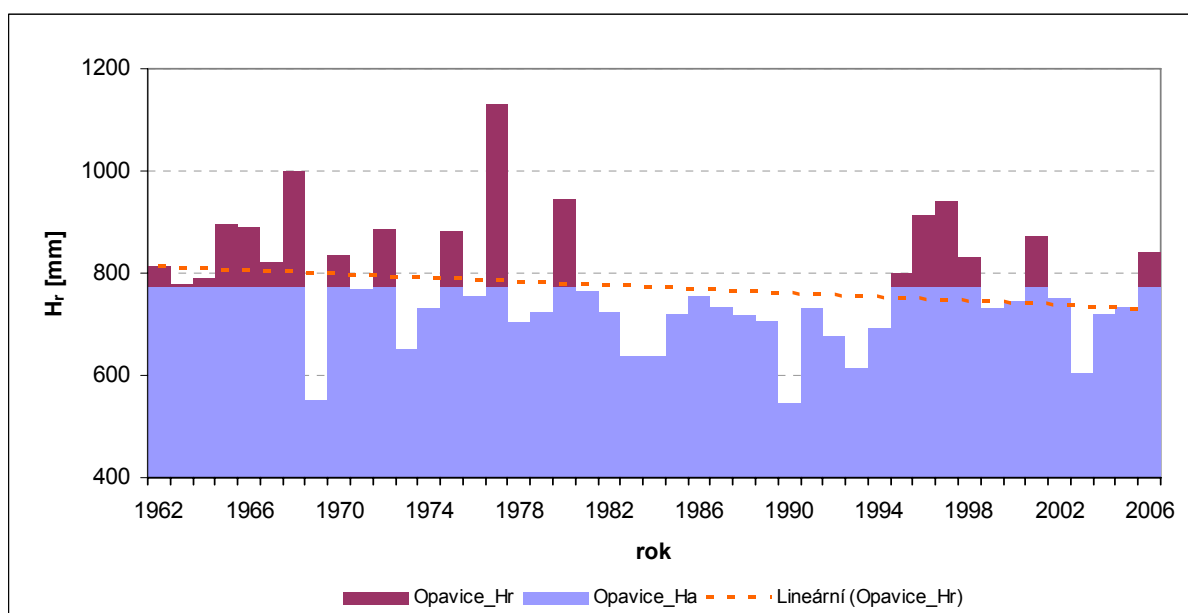


Obr. 5.6: Tendence H_r na Opavě v období 1962-2006

(Zdroj: ČHMÚ)

Směr tendence je dán především suchou periodou v letech 1981 – 1994, kdy se na Opavici nevyskytl žádný nadprůměrně vlhký rok a na Opavě pouze dva (1981 a 1986). Tomuto období navíc od druhé poloviny 60.let předcházela dlouhá časová řada s mnoha nadprůměrně až mimořádně nadprůměrně vlhkými roky. V několika posledních letech dochází opět k nepravidelnému střídání vlhkých a suchých let bez zjevné koncentrace.

Bezpochyby je ale zajímavé sledovat závislost vývoje odtoku s vývojem srážek. Řady ročních průtoků (Q_r) v obou povodích velmi dobře korelují s řadami ročních výšek srážek (H_r). Je tedy velmi pravděpodobné, že na odtok z povodí mají největší vliv spadlé srážky.



Obr. 5.7: Tendence H_r na Opavici v období 1962-2006

(Zdroj: ČHMÚ)

Na závěr byla opět hodnocena variabilita souborů H_r pomocí C_v a ***poměru průměrné odchylky od mediánu k mediánu***. Z hlediska proměnlivosti ročních srážek se oba soubory jeví jako homogenní a vyrovnané (Opava: $C_v = 0,13$ a PPOMM – 0,11; Opavice: $C_v = 0,15$ a PPOMM – 0,11).

5.1.3 Shrnutí srážkových poměrů

V povodí Opavy obecně spadne během roku více srážek než v povodí Opavice. Zásahu na tom má orografické zesílení srážek na svazích Hrubého

Jeseníku a s tím související návětrný efekt, při kterém srážky vypadávají v horní části povodí Opavy.

V obou povodích existuje pravidelný roční chod srážek s maximem v letních měsících a minimem v zimních. Zhruba dvě třetiny celkového ročního množství srážek spadne v teplém půlroce. Z hlediska proměnlivosti H_m se nejvyrovnaněji jeví červen a listopad, největší variabilita měsíčních výšek srážek je naopak zaznamenána v červenci a říjnu.

Z dlouhodobého vývoje je patrná tendence poklesu H_r , jež je určena hlavně narůstajícím srážkovým deficitem v teplém půlroce. Trend úbytku srážek je výraznější v povodí Opavice.

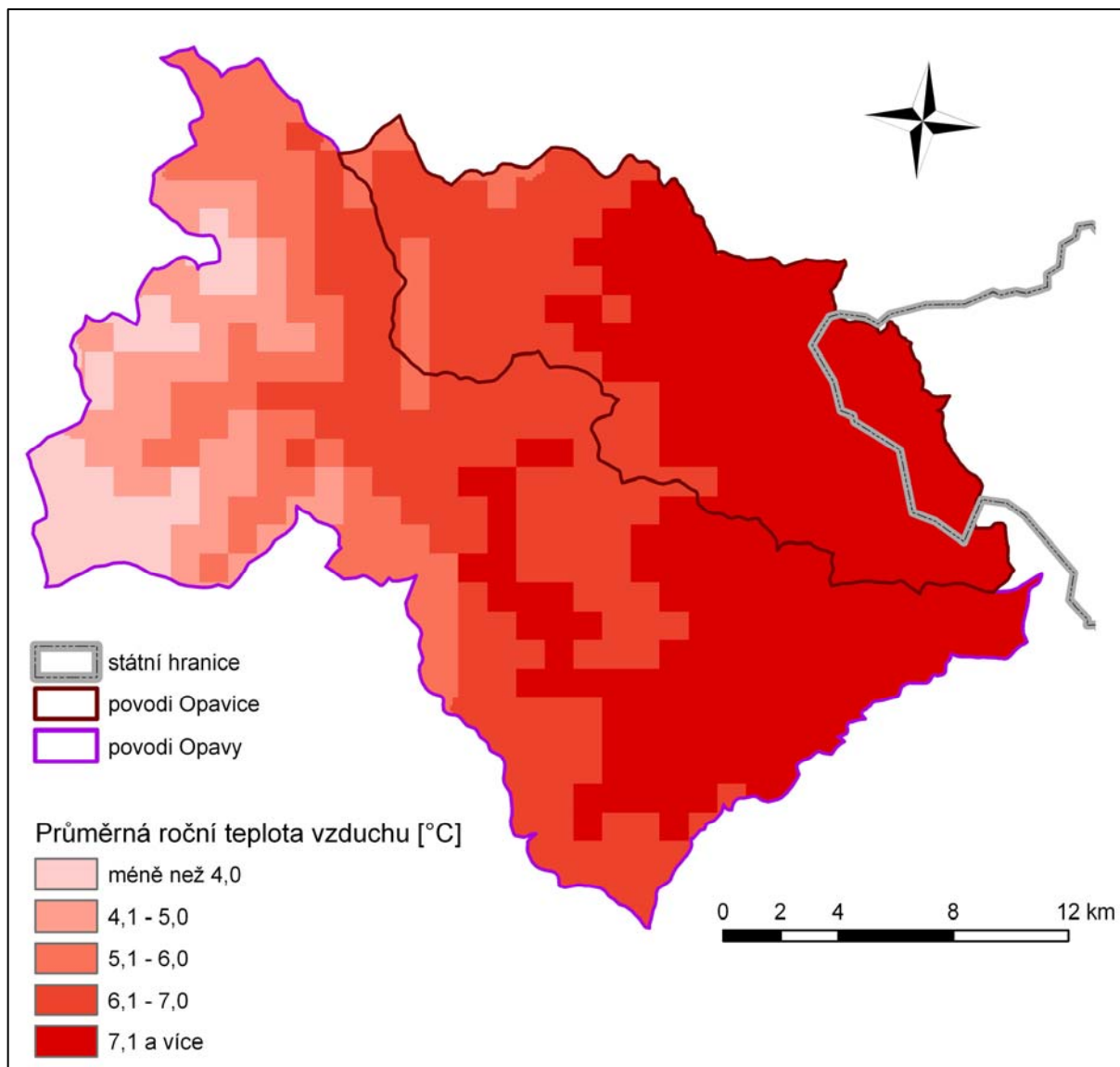
5.2 Teplotní poměry

Velmi žhavým tématem současnosti, nejen na vědeckém fóru, je otázka globální změny klimatu. Intenzivně se prodiskutovávají a čím dál častěji modelují možné scénáře budoucího vývoje klimatických prvků. Ústředním prvkem, který je sledován nejčastěji, je teplota vzduchu. Její neustálé zvyšování od 80. let 20. století je spojováno především se zvyšujícími se koncentracemi skleníkových plynů v atmosféře a tím pádem silicím působení skleníkového efektu. Je nepochybné, že se na trendu nárůstu teploty podílí svojí činností také člověk, ale již není tak jednoduché zjistit přesnější kvantifikaci jeho podílu na této změně.

Klimatický a hydrologický systém jsou vzájemně propojeny, a proto jakákoliv změna systému jednoho působí na systém druhý. Není proto divu, že se teplota vzduchu významně uplatňuje i v oběhu vody. Ovlivňuje začátek a délku období tání sněhu včetně jeho intenzity, rozdělení odtoku v průběhu roku, dlouhodobě vytváří podmínky pro sezonalitu extrémních odtoků a určuje také velikost a prostorové a časové rozdělení výparu. (Tolasz 2005) Ovlivňovány jsou i hladiny podzemních vod a množství jejich zásob a to tím více, čím jsou průměrné roční teploty vyšší. (Pretel 2006)

Geografické rozložení průměrné roční teploty vzduchu (T_a) v povodí Opavy znázorňuje Obr. 5.8. Mapa jasně ukazuje na zjevnou vazbu poklesu teploty vzduchu s rostoucí nadmořskou výškou. Nejtepleji je ve východní a jihovýchodní části povodí při hranici s Polskem (na dolních tocích obou řek), kde průměrné roční teploty

vzduchu dosahují 8°C. Nejchladnější jsou naopak vrcholové části Hrubého Jeseníku, kde průměrná roční teplota klesá pod 2°C.



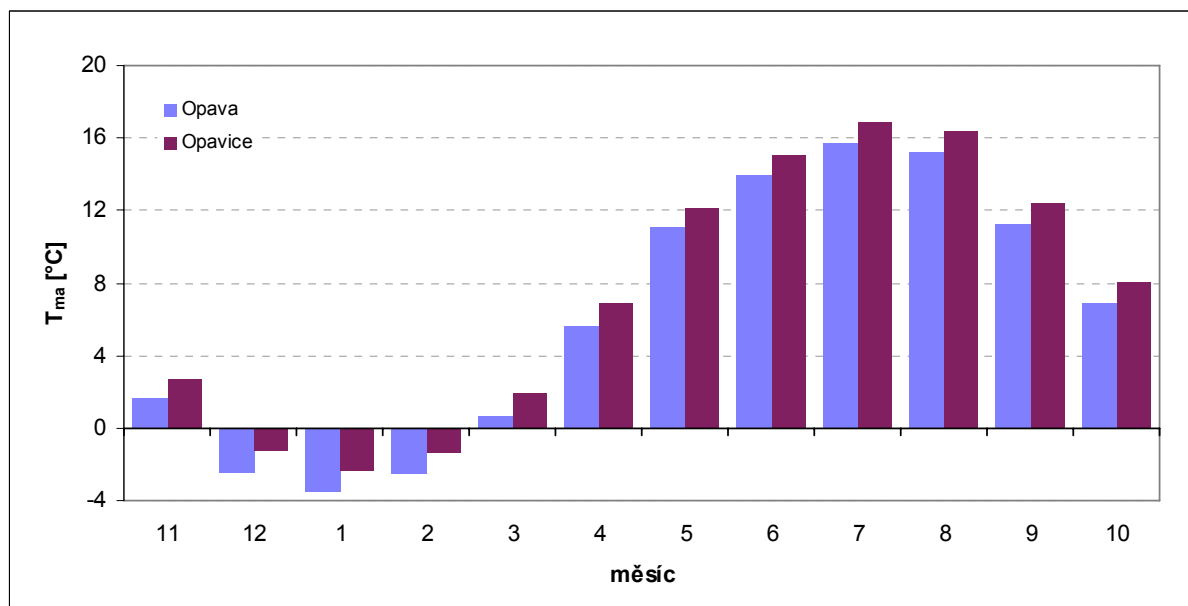
Obr. 5.8: Průměrná roční teplota vzduchu (1962-2006)

(Zdroj: ČHMÚ)

5.2.1 Měsíční a sezónní teplota vzduchu

V ročním chodu průměrných měsíčních výšek teploty vzduchu (T_{ma}) je pro povodí Opavy a Opavice typická jednoduchá kontinentální vlna s nejvyšší průměrnou teplotou v červenci (Opava 15,7°C; Opavice 16,8°C) a nejnižší v lednu (Opava -3,5°C, Opavice -2,4°C). (Obr. 5.9) Pravidelně je v jednotlivých měsících v povodí Opavice o 1,1 – 1,2°C tepleji než v povodí Opavy, což značí stálé teplotní podmínky

v obou povodích. Dlouhodobě klesá teplota vzduchu pod bod mrazu pouze ve třech zimních měsících – v prosinci, lednu a v únoru.



Obr. 5.9: Průměrná měsíční výška teploty (T_{ma}) na Opavě a Opavici (1962-2006)
(Zdroj: ČHMÚ)

Další rozborů měsíčních a sezónních teplotních poměrů byly z důvodu nedostatečného počtu stanic a tím pádem nevyhovujícím vstupu pro plošnou interpolaci v ArcView prováděny pro vybrané klimatologické stanice ve zkoumaných povodích a jejich okolí. Analyzované stanice byly voleny podle několika kritérií, z nichž nejdůležitějšími byly lokace stanice, stacionarita polohy stanice během sledovaného období a nadmořská výška. Bylo snahou, aby stanice ležely v dolní, střední a horní části povodí a charakterizovaly tak teplotní poměry v jednotlivých výškových stupních. Konkrétně byly vybrány tři stanice – Město Albrechtice-Žáry, Červená a Praděd. Jejich základní teplotní charakteristiky zobrazuje Tab. 5.1.

Tab. 5.1: Teplotní charakteristiky vybraných klimatologických stanic (1962-2006)

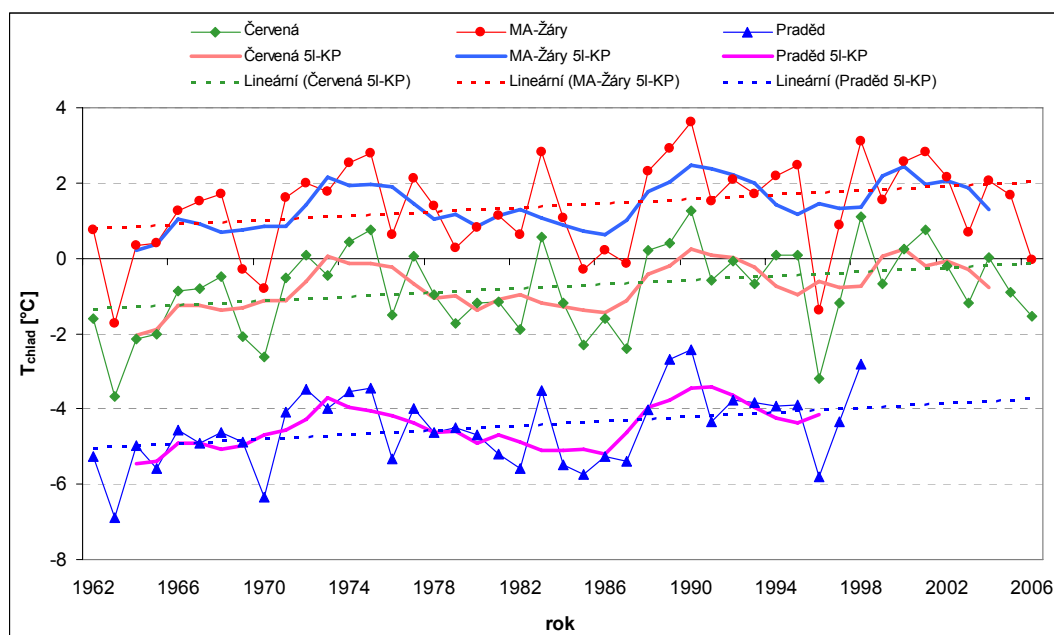
Stanice	Měří (současná poloha) od-do	Nadm. výška [m n.m.]	Tr [°C]	T11	T12	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	Tchl	Ttep
Červená	1952-	750	5,7	0,7	-3,4	-4,6	-3,3	0,2	5,4	10,8	13,7	15,5	15,3	11,2	6,5	-0,8	12,2
Praděd*	1933-1997	1490	1,1	-2,7	-5,9	-7,0	-6,9	-4,5	-0,5	4,9	7,9	9,7	9,7	6,1	2,5	-4,5	7,0
MA-Žáry	1960-	483	7,5	2,9	-1,0	-2,0	-1,1	2,1	7,0	12,2	15,2	17,0	16,7	12,9	8,4	1,3	13,8

(Zdroj: ČHMÚ)

*Pozn.: časové řady teplot u stanice Praděd pouze do roku 1997

V Přílohách 5 – 7 je možné sledovat roční chod průměrné, maximální a minimální teploty vzduchu na vybraných klimatologických stanicích. Grafy svým průběhem odpovídají ročnímu chodu T_{ma} v povodí Opavy a Opavice s maximem v červenci a minimem v lednu. Absolutně nejchladnějším měsícem se ve sledovaném období na všech stanicích stal leden 1963 (MA-Žáry: $-9,4^{\circ}\text{C}$; Červená: $-11,8^{\circ}\text{C}$; Praděd: $-14,0^{\circ}\text{C}$). Obecně byla zima roku 1963 teplotně nejextrémnější na většině území České republiky za posledních necelých 50 let, což dokládá také Ledvinka (2008) na povodí Rolavy. Nejteplejšími měsíci za dobu pozorování byly srpen 1992 (MA-Žáry: $21,7^{\circ}\text{C}$; Praděd: $14,2^{\circ}\text{C}$) a na Červené červenec 2006 ($20,6^{\circ}\text{C}$). To jen potvrzuje skutečnost, že se teplotní maxima koncentrují do posledních 20 let, kdy dochází k nejintenzivnějšímu oteplování.

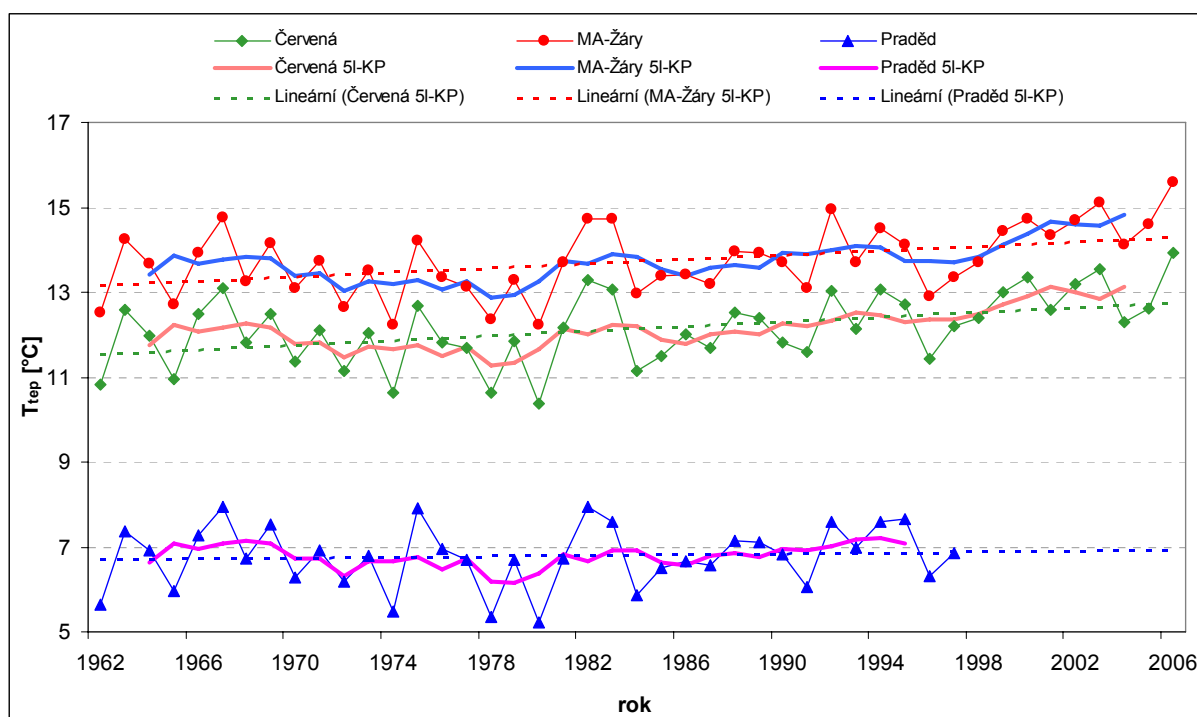
V měsících chladného půlroku je patrná větší rozkolísanost teplot vyjádřená **směrodatnou odchylkou** než v měsících teplého půlroku. Na všech třech stanicích je nejproměnlivější únor, nejvyrovnaněji se naopak jeví červen. Podobný roční chod je možné sledovat také u amplitud T_m . Největší amplitudy jsou zde pozorovány také v zimních měsících, z nichž na Pradědu a Červené dominuje leden. V nižších polohách se největší rozdíl mezi maximální a minimální T_m vyskytuje o měsíc později, v únoru. Kromě stanice Město Albrechtice-Žáry byl tento jev zaznamenán i v dalších níže položených lokalitách (Světlá Hora, Opava). Nejmenší amplituda pak byla shodně zaznamenána v srpnu.



Obr. 5.10: Vývoj teploty vzduchu v chladném půlroce (1962-2006)

(Zdroj: ČHMÚ)

Pro hodnocení trendů měsíčních a sezónních teplot byly zkonstruovány křivky 5-letých klouzavých průměrů. Nejvýraznější nárůst T_m byl zaznamenán v lednu, květnu, červenci a srpnu, naproti tomu na většině stanic byl zjištěn pokles teploty v září a v listopadu. Na Obr. 5.10 a 5.11 vidíme vývoj teplot v chladném a teplém půlroce za období 1962 – 2006. Časové řady klimatologické stanice Praděd byly omezeny datem ukončení provozu této stanice (15. září 1997). Na všech vybraných stanicích je v obou půlrocích patrný výrazný vzestupný trend teploty vzduchu (vyjma teplého půlroce na Pradědu, kde teploty rostou jen nepatrně). V chladném půlroce bylo největší oteplení zaznamenáno v první pozorované dekádě (v našem případě 11 let), v teplém půlroce naopak v posledních 12 letech (Tab. 5.2). Nekompletnost časové řady Pradědu však ztěžuje interpretaci jednotlivých trendů, k čemuž je nutno při hodnocení přihlížet. Bohužel o dalším vývoji teplotních poměrů v nejvyšších částech povodí Opavy můžeme jen spekulovat, ale podle naznačené tendence je velmi pravděpodobné, že i zde nastolený trend oteplování pokračuje. To je důležité zdůraznit hlavně z hlediska vlivu teploty vzduchu na časovou a prostorovou distribuci odtoku ze sněhu.



Obr. 5.11: Vývoj teploty vzduchu v teplém půlroce (1962-2006)

(Zdroj: ČHMÚ)

Tab. 5.2: Trend oteplování na vybraných stanicích v období 1962-2006

(Zdroj: ČHMÚ)

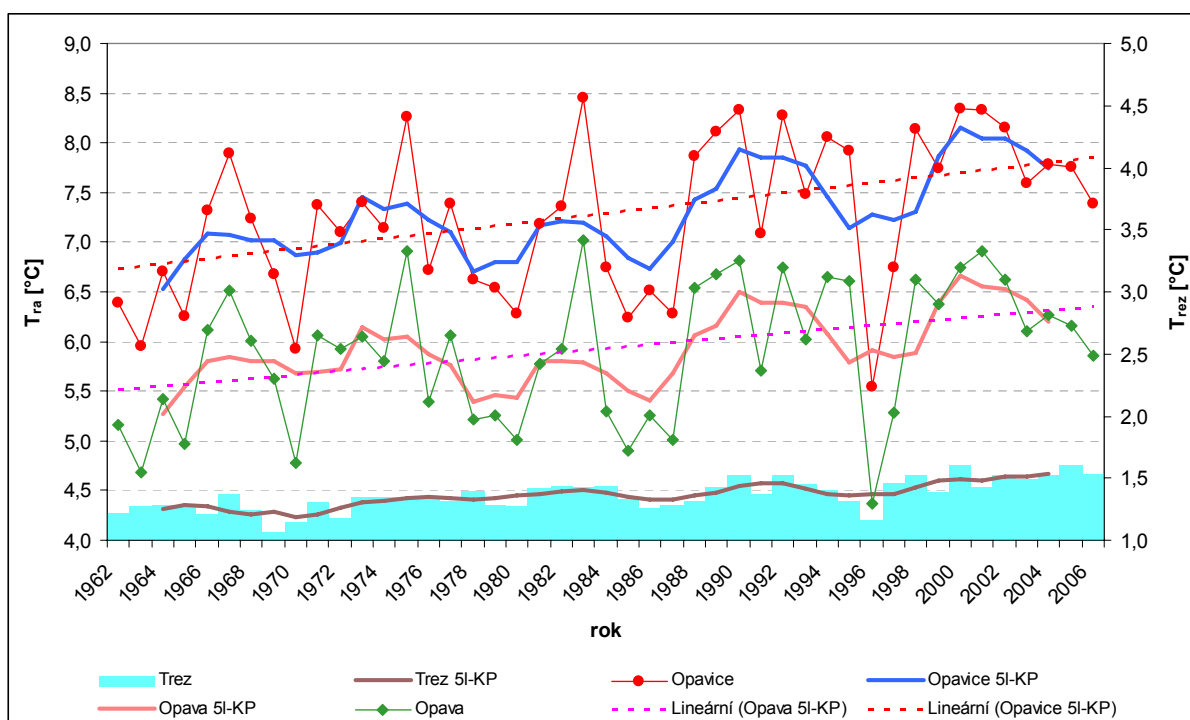
	Červená	Praděd	Město Albrechtice-Žáry
Průměrná roční teplota [°C]			
1962-1972	5,2	0,9	7,1
1973-1983	5,6	1,1	7,5
1984-1994	5,7	1,3	7,6
1995-2006	6,1	-	7,9
trend oteplování [°C.rok ⁻¹]	0,0274	0,0182	0,0265
Průměrná teplota v chladném půlroce [°C]			
1962-1972	-1,5	-5,1	0,6
1973-1983	-0,6	-4,4	1,5
1984-1994	-0,6	-4,3	1,6
1995-2006	-0,6	-	1,5
trend oteplování [°C.rok ⁻¹]	0,0270	0,0296	0,0276
Průměrná teplota v teplém půlroce [°C]			
1962-1972	11,9	6,8	13,5
1973-1983	11,8	6,7	13,4
1984-1994	12,1	6,8	13,7
1995-2006	12,8	-	14,3
trend oteplování [°C.rok ⁻¹]	0,0277	0,0051	0,0255

5.2.2 Změny roční teploty vzduchu

Podle předpokladů ukazuje rovněž Obr. 5.12 vzestupnou tendenci průměrných ročních výšek teplot vzduchu T_{ra} na povodí Opavy a Opavice za období 1962-2006. Ani vývoj T_r na vybraných klimatologických stanicích neukazuje žádné výrazné změny trendu (Příloha 8). Trend je opět v obou případech znázorněn 5-letými klouzavými průměry. Průběh křivek vykazuje periodické střídání teplejších a chladnějších období se zvýšeným zastoupením nadprůměrných let od roku 1988, které určují výsledný trend oteplování. I v tomto velmi teplém období jsou však registrovány chladnější výkyvy, jako např. extrémně chladný rok 1996. Křivka teplotních reziduí T_{rez} , tj. rozdílu T_{ra} na Opavici a na Opavě, vyjadřuje fakt, že se povodí Opavice, potažmo nižší polohy, oteplují více než povodí Opavy (vyšší polohy). Z předchozích analýz se ukázalo, že je za to zodpovědný teplý půlrok, ve kterém není oteplování vyšších poloh tak zřejmé.

Je paradoxem, že nejteplejší rok v povodí Opavy a Opavice se za dobu pozorování nevyskytl během již zmiňovaného teplého období od roku 1988, ale již o něco dříve v roce 1983 (Opava 7,0°C; Opavice 8,5°C). Nejchladnější rok 1996 (Opava 4,4°C; Opavice 5,5°C) naopak v tomto období leží. Stojí za to si povšimnout, že se dané maximum nebo minimum vyskytlo vždy po několikaletém období opačného vývoje teplot.

Variační koeficient ani **poměr průměrné odchylky od mediánu k mediánu** neukázaly výraznější heterogenitu v řadách T_{ra} ani v jednom povodí, a tak je možné z hlediska proměnlivosti teplot považovat obě řady za stabilní (Opava: $C_v - 0,12$ a PPOMM – 0,10; Opavice: $C_v - 0,11$ a PPOMM – 0,09).



Obr. 5.12: Vývoj T_{ra} a T_{rez} v povodí Opavy a Opavice (1962-2006)

(Zdroj: ČHMÚ)

5.2.3 Shrnutí teplotních poměrů

Povodí Opavice je z důvodu nižší průměrné nadmořské výšky obecně teplejší než povodí Opavy. Roční chod T_{ma} je v obou povodích typický, s maximem v červenci a minimem v lednu. Kvůli nedostatečnému počtu klimatologických stanic k provedení plošné interpolace byly některé teplotní analýzy uskutečněny pouze pro vybrané stanice – Praděd, Červená a Město Albrechtice-Žáry. Tímto způsobem byly

sledovány měsíční a sezónní řady teploty vzduchu. Teplota vzduchu v jednotlivých měsících zaznamenává růst v lednu, květnu, červenci a srpnu, naproti tomu na většině stanic byl zjištěn pokles v září a v listopadu. Směrodatná odchylka potvrdila největší variabilitu T_m v únoru, nejméně proměnlivé měsíční teploty jsou v červnu.

Při sledování sezónních teplot vzduchu byl na všech stanicích objeven vzestupný trend, který se však v závislosti na nadmořské výšce liší. Zatímco v chladném půlroce se horní i dolní části povodí oteplují poměrně stejně, v teplém půlroce intenzita oteplování ve vyšších polohách klesá. Změnu trendu oteplování ve vyšších nadmořských výškách dosvědčuje také srovnání průměrných roční výšek teploty (T_{ra}) v obou povodích. Povodí Opavy se kvůli výše uvedeným poznatkům otepluje méně než povodí Opavice. Nic to však nemění na tom, že na obou povodích byla potvrzena jednoznačná rostoucí tendence teploty vzduchu. Tu při svých výzkumech na povodích Blanice a Rolavy prokázali také Kliment a Matoušková (2009), resp. Ledvinka (2008).

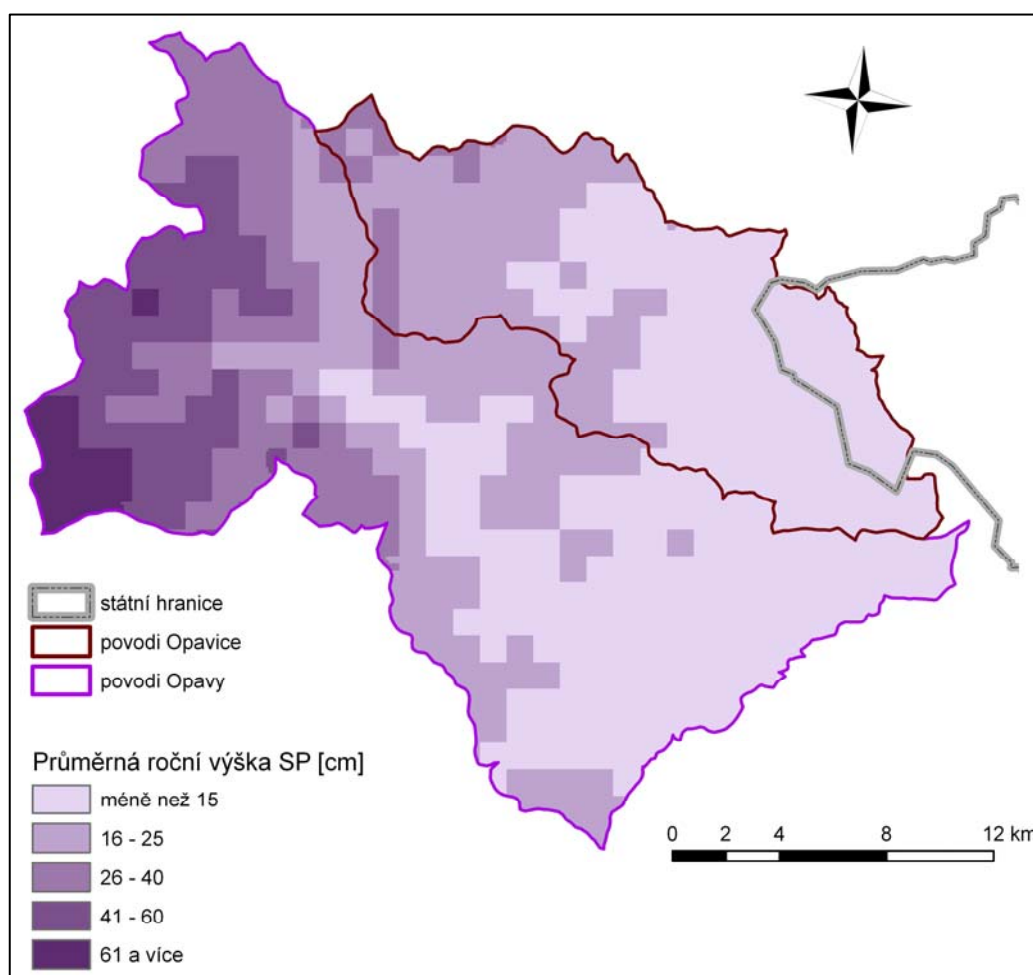
5.3 Sněhové poměry

Trvání a výška sněhové pokrývky, její variabilita a dlouhotrvající trend jsou výsledkem společného působení několika dalších klimatických prvků a jevů jako např. atmosférické cirkulace, teploty vzduchu, srážkami, větrem nebo slunečním zářením. Komplexní projev těchto faktorů a jejich meziročních změn dobře vystihuje celkovou klimatickou variabilitu zimních sezón. Další studium sněhových poměrů nám napomáhá k tomu, abychom blíže pochopili souvislosti dopadu sněhové pokrývky na místní klima a odtokový proces.

Výzkum sněhové pokrývky je zaměřen hlavně na dvě různá badatelská odvětví. Jedním z nich je sledování změn sněhové pokrývky a případná detekce dlouhodobých trendů, druhým je v současnosti stále více se rozvíjející aplikace sněhových modelů a otázka vstupních dat při modelování odtoku ze sněhu. V České republice se dlouhodobými změnami sněhové pokrývky zabývali např. Němec a Zusková (2005) nebo Kříž a Tolasz (1990), ze zahraničních autorů můžeme jmenovat Falarzovou (2004) či Browna s Petkovovou (2007). Problematiku hydrologického modelování sněhu a určení jeho množství pro vstup do modelů u nás řešili např. Němečková (2007) a Jelínek (2008).

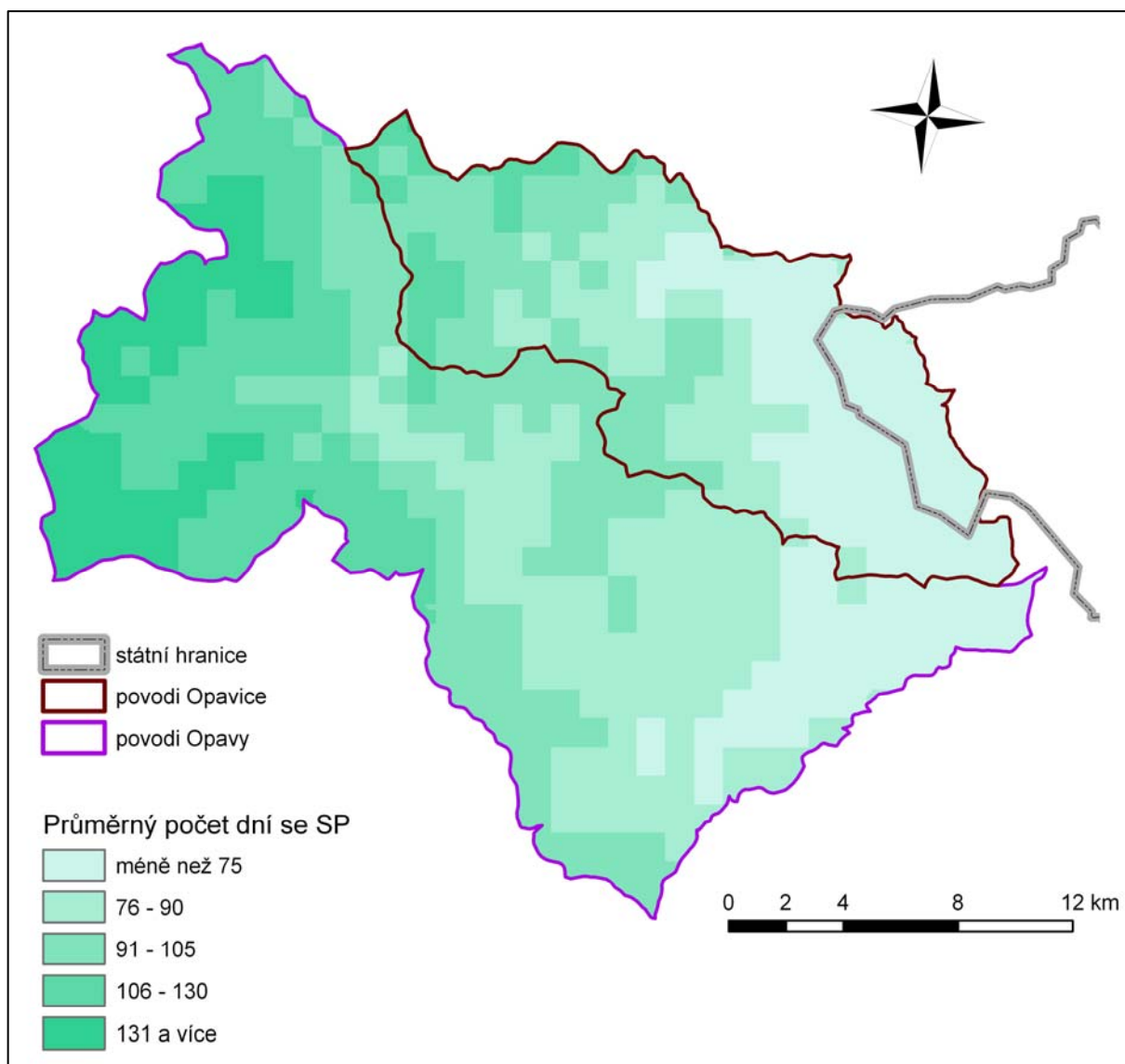
V jednotlivých analýzách sněhové pokrývky v povodí Opavy byly opět částečně použity interpolované hodnoty pro celá povodí a částečně hodnoty výšky sněhové pokrývky pro vybrané klimatologické stanice. Opět se jimi staly stanice Praděd, Červená a Město Albrechtice-Žáry. Hlavními sledovanými charakteristikami byly výška sněhové pokrývky a počet dní se sněhovou pokrývkou za období 1962 – 2006. Kvůli možnosti srovnání a dalšího analyzování s ostatními klimatickými prvky byly časové řady zimních sezón omezeny trváním chladného hydrologického půlroku (listopad – duben). Jednotlivé sezóny byly označeny rokem, ve kterém sezóna končila, tzn. zima 1980/81 je uváděna rokem 1981. Celé sezóny (půlroky) jsou hodnoceny jako roční ukazatele sněhové pokrývky.

Obr. 5.13 reflektuje dlouhodobou roční výšku sněhové pokrývky v obou povodích a Obr. 5.14 zobrazuje počet dní se sněhovou pokrývkou rovněž za období 1962 – 2006. Je na nich vidět zřejmá pozitivní závislost na nadmořské výšce.



Obr. 5.13: Průměrná roční výška sněhové pokrývky (1962-2006)

(Zdroj: ČHMÚ)



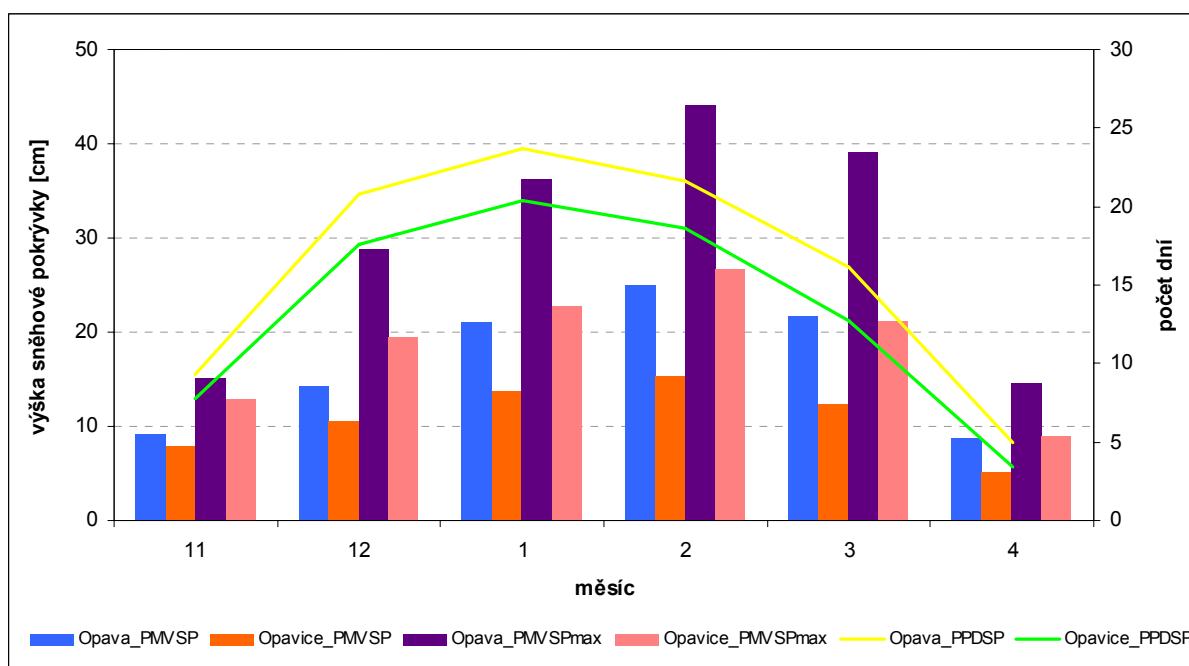
Obr. 5.14: Průměrný roční počet dní se sněhovou pokrývkou (1962-2006)

(Zdroj: ČHMÚ)

5.3.1 Měsíční hodnocení výšky sněhové pokrývky

Hrubý Jeseník patří k oblastem s nejdelší dobou trvání a nejmnocnější vrstvou sněhové pokrývky v České republice. Sněhová pokrývky zůstává nejdéle v oblasti Pradědu (v průměru až 8 měsíců v roce) a její průměrné roční maximum činí 188,4 cm (v období 1962 – 1997). Nikoho proto nepřekvapí, že se v povodí Opavy vyskytuje v průměru více sněhu než v povodí Opavice. Sezónní chod průměrné měsíční výšky sněhové pokrývky (S_m) spolu s průměrným měsíčním počtem dní se sněhovou pokrývkou v obou povodích je znázorněn na Obr. 5.15. Při interpolaci bodových měsíčních hodnot na plochu se nejmnocnější sněhová pokrývky vyskytuje

v únoru (na Opavě 25,1 cm; na Opavici 15,4 cm). Hodnocení počtu dní se sněhovou pokrývkou trochu zkresluje různý počet dní v jednotlivých měsících, ale obecně se v povodí nejčastěji setkáme se sněhem v lednu a únoru.



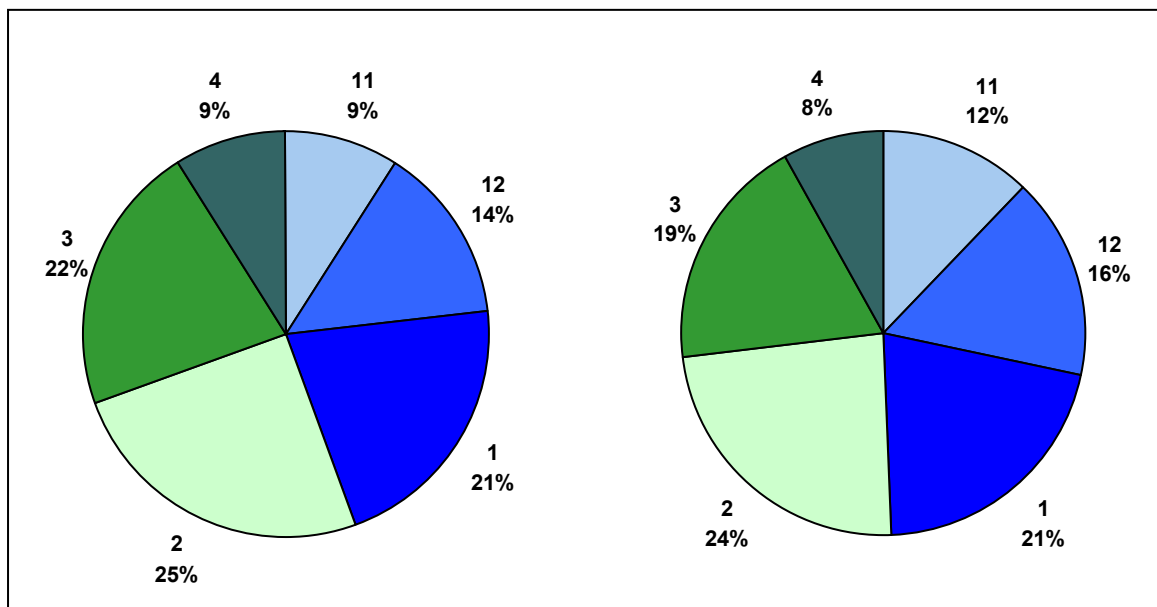
Obr. 5.15: Roční chod výšky sněhové pokrývky a počtu dní se sněhovou pokrývkou v povodí (1962-2006)

(Zdroj: ČHMÚ)

Hodnoty podílů jednotlivých S_m na celkové roční výšce sněhové pokrývky (S_r) lze nalézt na Obr. 5.16. Kruhové grafy potvrzují dominanci sněhových poměrů v únoru. Je možné si dobře povšimnout, že na Opavě zůstává mocná sněhová pokrývky déle, což dokumentuje vyšší březnový podíl (21,7 % vzhledem k 19,1 % na Opavici). Jak uvádí Quitt (1971), v nejvyšších horských oblastech bývá sněhová pokrývky nejmocnější v březnu, v níže položených většinou v únoru. Tuto skutečnost potvrzuje také Příloha 9, kdy je na Pradědu zaznamenávána dlouhodobě nejvyšší S_m právě v březnu oproti únorovým maximům na ostatních stanicích. Úbytek sněhu v nižších polohách souvisí se vzrůstem teploty vzduchu, která od března na sledovaných stanicích (kromě Pradědu) nabývá dlouhodobě kladných hodnot. Ještě rychleji ubývá sněhu kvůli strmějšímu nárůstu teplot v dubnu a s výjimkou nejvyšších poloh Hrubého Jeseníku mizí úplně.

Variabilita výšek sněhové pokrývky je podle **variačního koeficientu i poměru průměrné odchylky od mediánu k mediánu** nejvyšší v dubnu, kdy může

v závislosti na klimatu dojít k prudkému tání nebo se naopak ještě může sněhová pokrývka udržovat ve významných mocnostech. U Pradědu je naproti tomu nejrozkolísanější listopad, což by se dalo opět vysvětlit dřívějším výskytem sněhové pokrývky v kontrastu s pozdějším táním konajícím se rozhodující měrou až v květnu či později.



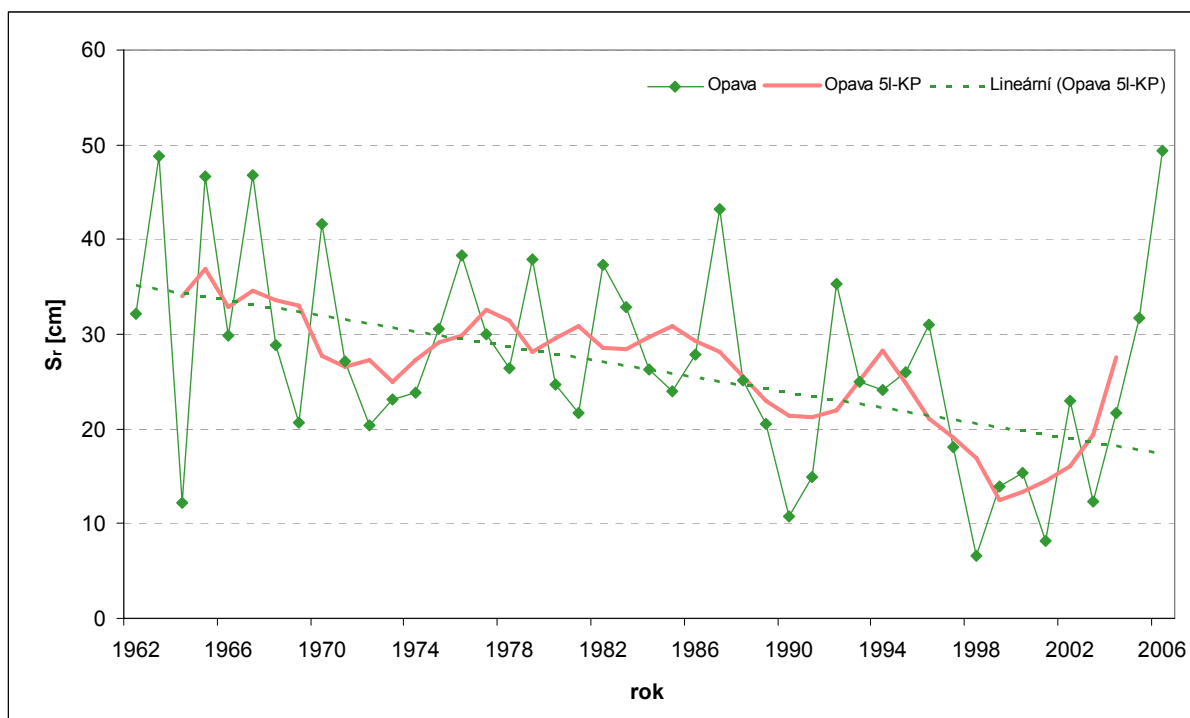
Obr. 5.16: Rozložení S_m během roku v povodí Opavy (vlevo) a Opavice (vpravo)
(Zdroj: ČHMÚ)

Maximální denní hodnoty výšky sněhové pokrývky byly naměřeny na všech stanicích v různý den. Na Červené to bylo 10.března 1970, konkrétně 173 cm. V Městě Albrechticích se tomu stalo 6.února 1963 a na Pradědu bylo absolutního maxima dosaženo 28.-29.března 1976. Všechny tyto roky byly z hlediska sněhových poměrů nadprůměrné a všechny spadají do první poloviny sledovaného období.

5.3.2 Změny v roční výšce sněhové pokrývky

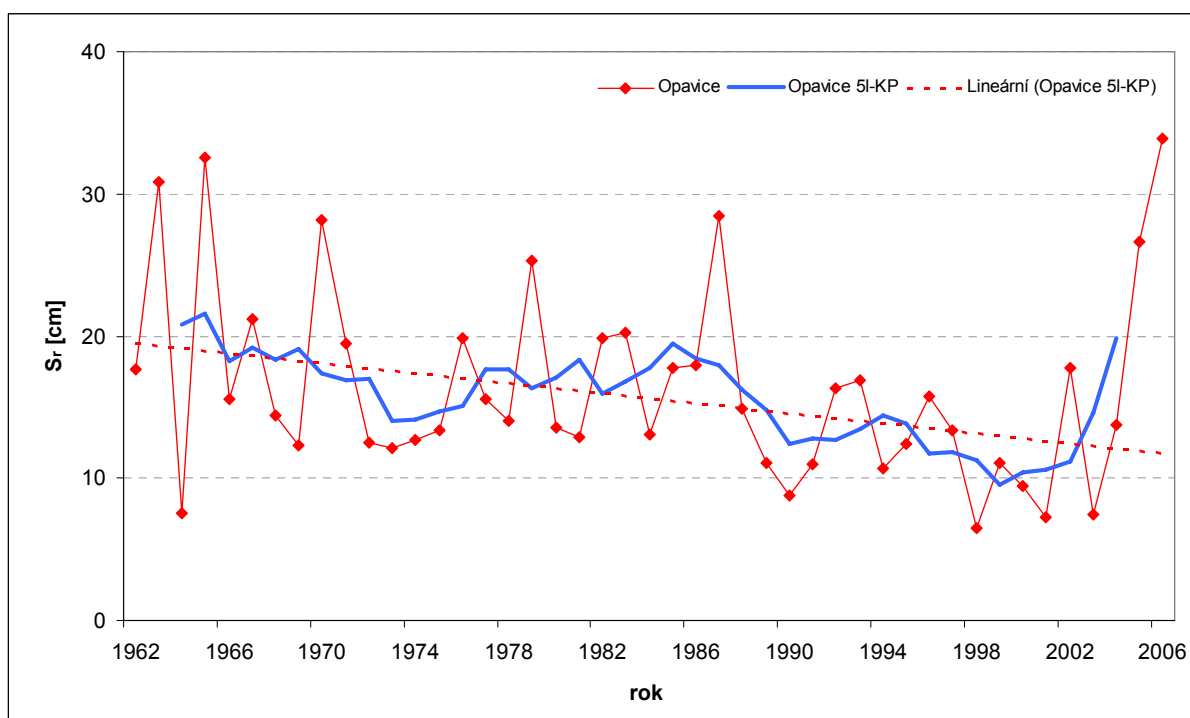
V dlouhodobém vývoji má mocnost sněhové pokrývky v povodí Opavy a Opavice klesající průběh. To je možné postřehnout z Obr. 5.17 a 5.18. Na Opavě je trend poklesu větší než na Opavici. Výrazným milníkem je opět rok 1988, od kterého se ve zbylém období na obou povodích objevilo pouze pět let s nadprůměrnou výškou sněhové pokrývky. V posledních třech letech zkoumaného období však byla nastolena zřejmá rostoucí tendence v čele s extrémní zimní

sezónou 2006, proto je zavádějící činit bez delších časových záznamů nějaké průkazné závěry.



Obr. 5.17: Vývoj S_r v povodí Opavy (1962-2006)

(Zdroj: ČHMÚ)



Obr. 5.18: Vývoj S_r v povodí Opavice (1962-2006)

(Zdroj: ČHMÚ)

Za období 1962 – 2006 činila dlouhodobá roční výška sněhové pokrývky (S_a) na povodí Opavy 25,3 cm a na povodí Opavice 15,9 cm. Rok s nejextrémnějším výskytem sněhové pokrývky má mnoho lidí ještě v živé paměti. Maximální výšky bylo dosaženo v zimní sezóně 2006, kdy se povodí Opavy ukryvalo pod sněhovou pokrývkou v průměrné výšce 49,4 cm a povodí Opavice pod výškou 33,9 cm. Absolutní minimum se naopak vyskytlo v roce 1998, kdy na povodí Opavy a Opavice leželo v průměru pouhých 6,6, resp. 6,4 cm.

Rozkolísanost S_r je na obou povodích velmi podobná. Podle **variačního koeficientu a poměru průměrné odchylky od mediánu k mediánu** je jen velmi nepatrně variabilnější S_r na Opavici (Opava: $C_v = 0,417$ a PPOMM – 0,32; Opavice: $C_v = 0,422$ a PPOMM – 0,35). Podle vypočtených hodnot jsou oba soubory relativně heterogenní.

Při navazujících analýzách sněhových poměrů na klimatologických stanicích se prokázal patrný sestupný trend u obou výše položených stanic, který činil v průměru téměř 1 cm za rok (Červená 0,75 cm.rok⁻¹; Praděd 0,85 cm.rok⁻¹). Tento fenomén rychlejšího úbytku sněhu ve vyšších polohách je zodpovědný za větší pokles výšky sněhové pokrývky na Opavě. Analýza příčin tohoto jevu je obtížná vzhledem ke komplexnosti faktorů působících na trvání a výšku sněhové pokrývky.

Němec a Zusková (2005) srovnávali na příkladu stanic Tábor a Lysá Hora závislost sněhu na sezónní teplotě a srážkách. Podle očekávání vyšla pro horskou stanici těsnější závislost na srážkách, naopak v Táboře je sníh mnohem výrazněji ovlivněn teplotou. Tato vazba byla v podstatě potvrzena také Clarkem (1999, sec. Falarz 2004), jenž vysledoval na různých příkladech v Eurasii, že termální podmínky hrají rozhodující roli ve formování sněhové pokrývky v regionech, kde se průměrná zimní teplota pohybuje v rozmezí -5°C až 5°C, zatímco srážky jsou klíčové v asijských oblastech, kde je zimní průměr mezi -5°C až -15°C.

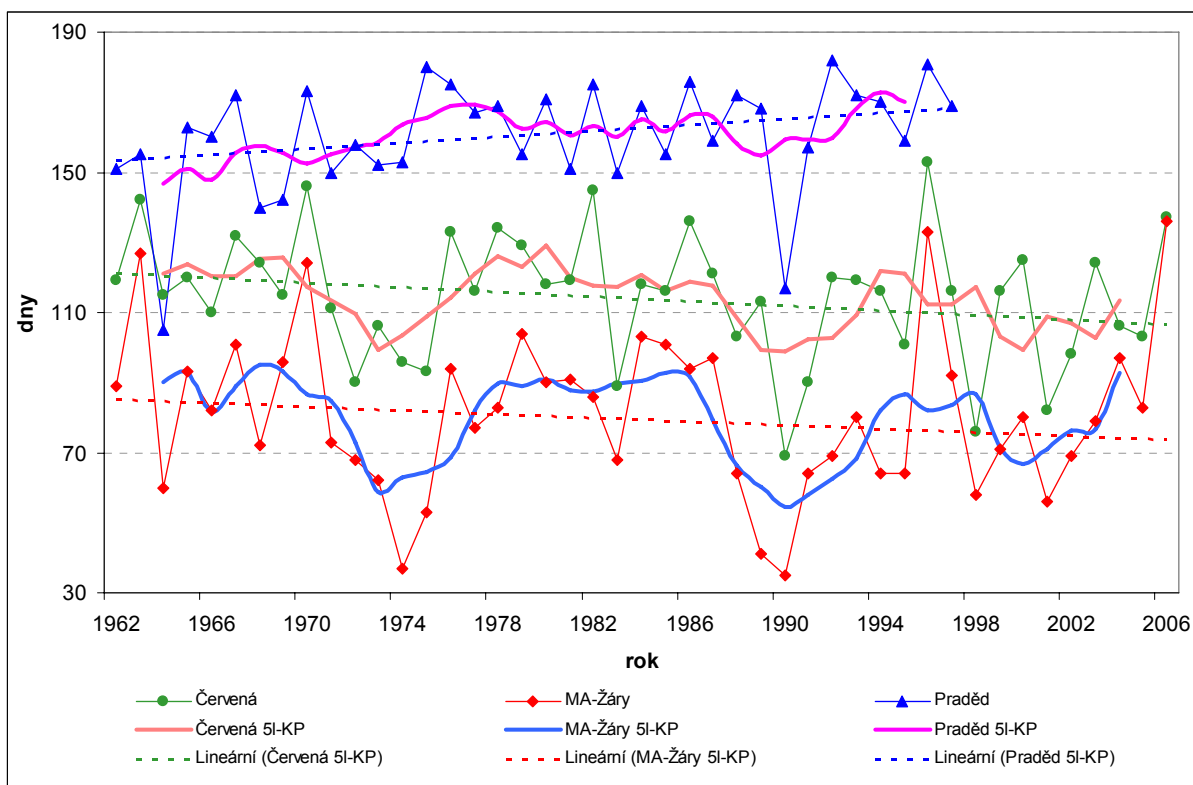
V povodí Opavy byly tyto závislosti potvrzeny provedenou korelační analýzou. Na stanici Praděd reprezentující vyšší a chladnější polohy byl zaznamenán silný pozitivní vztah mezi sněhovou pokrývkou a srážkami, zatímco na zbývajících dvou níže ležících stanicích se projevila významná negativní závislost mezi sněhovou pokrývkou a teplotou.

V dalším pokračování byly provedeny analýzy vývoje počtu dní se sněhovou pokrývkou. Ve všech sledovaných stanicích, kromě Pradědu, byl za období 1962 – 2006 zjištěn pokles počtu dní se sněhovou pokrývkou. (Obr. 5.19) Podobnou

skutečnost dokazují také studie ze Šumavy (Kliment, Matoušková 2009) a z Krušných hor (Ledvinka 2008). Úbytek dní se sněhovou pokrývkou je vázán na první polovinu 70.let, přelom 80. a 90.let a na konec 90.let. Tyto několikaleté úseky se shodují s výskytem vyšších T_r z předchozích teplotních analýz.

Úloha klimatologické stanice Praděd je v mnoha ohledech specifická. Postupné oteplování klimatu se zde výrazně projevilo úbytkem sněhové pokrývky, ale nikoli snížením počtu dní se sněhovou pokrývkou, jako je tomu v níže položených oblastech. Stejně znaky objevila Falarz (2004) také v určitých horských oblastech v Polsku. Některá sudetská pohoří, Vysoké Tatry a Orava na hranicích se Slovenskem signalizují rostoucí trend trvání sněhové pokrývky (počtu dní se sněhovou pokrývkou) a klesající trend výšky sněhové pokrývky.

Kromě toho byl **variačním koeficientem a poměrem průměrné odchylky od mediánu k mediánu** potvrzen fakt, že největší meziroční variabilita sněhových podmínek (doby trvání a mocnosti) se ukazuje v místech s nejtencí sněhovou pokrývkou (Červená, Město Albrechtice-Žáry), zatímco největší stabilita sněhové pokrývky je zaznamenána v oblastech, kde je sněhu nejvíce (Praděd).



Obr. 5.19: Změny v délce trvání sněhové pokrývky ve vybraných klimatologických stanicích (1962-2006)

(Zdroj: ČHMÚ)

5.3.3 Shrnutí sněhových poměrů

V případě sněhu je situace obdobná jako u srážek. Sněhová pokrývka převažuje v zimní sezóně na povodí Opavy, nejmocnější se přitom stává v únoru. S přibývajícím nadmořskou výškou se však měsíční maximum sněhové pokrývky posouvá do března. Největší variabilita sněhových poměrů je zaznamenávána v měsících ohraničujících chladný půlrok (tedy v dubnu a v listopadu), kdy na sněhovou pokrývku působí teplejší klima a sníh tak následně rychleji odtává nebo se naopak ještě nevytváří souvislejší pokrývka.

Dlouhodobý vývoj S_r ukazuje zjevný pokles výšky sněhové pokrývky bez ohledu na nadmořskou výšku či geografickou polohu. Sněhová pokrývka ubývá více v povodí Opavy, přičemž byl prokázán větší úbytek sněhu ve vyšších polohách. Jednoznačně zdůvodnit tento jev je však poměrně obtížné a autor se přiklání ke komplexnímu vlivu několika faktorů, z nichž největší vliv pravděpodobně má mírný nárůst srážek ve spojení s významným oteplením.

Při rozborech doby trvání sněhové pokrývky byl na níže položených stanicích zjištěn dlouhodobý pokles počtu dní se sněhovou pokrývkou. Na Pradědu reprezentujícím horské polohy byl ale nalezen opačný trend. Tento zajímavý paradox poklesu výšky sněhové pokrývky ve vztahu k delšímu setrvání sněhové pokrývky na povrchu byl rozpoznán také na některých lokalitách v Polsku (Sudety, Vysoké Tatry, Orava). Při posuzování variability ročních charakteristik sněhových poměrů bylo potvrzeno, že největší meziroční variabilita sněhových podmínek se ukazuje v místech s nejtenčí sněhovou pokrývkou, zatímco největší stabilita sněhové pokrývky je zaznamenána v oblastech, kde je sněhu nejvíce.

5.4 Komplexní hodnocení klimatických podmínek a jejich vliv na odtok

5.4.1 Otázka globální změny klimatu a její působení na hydrologický systém

Klimatický systém je komplexní a velmi komplikovaný systém ovlivňující všechny ostatní složky geosféry. Klimatická změna neovlivňuje jen životní prostředí, na kterém je závislá existence člověka, ale také různé aspekty socioekonomického rozvoje. (Yaning et al. 2009) V některých světových oblastech se již dají detekovat

signifikantní změny přírodních a životních podmínek. Tyto změny se však odehrávají na dvou různých prostorových úrovních:

- Globální měřítko – klima se mění na základě různých „přirozených“ globálních příčin při aditivním spolupůsobení mnoha lokálních příčin (často antropogenně podmíněných). Tento vývoj bude v dalších desetiletích těžko k zastavení, naopak se pravděpodobně ještě vyostří a urychlí.
- Regionální měřítko – následky klimatické změny jsou kromě dílčího vlivu globální změny ovlivněné i připraveností a rezistencí daného regionu oproti zranitelnosti jiného. V prvním případě region aktivně a starostlivě jedná, ve druhém pouze pasivně reaguje. (Gerstengarbe et al. 2003)

V současnosti existuje stále více studií pojednávajících o vlivu klimatické změny na hydrologický cyklus v měřítkách povodí. Chiew a McMahon (2002, sec. Ma et al. 2008) zkoumali vliv klimatické změny na odtok v různých povodích napříč Austrálií, kdy srovnávali složky vodní bilance simulované hydrologickým modelem při užití současných klimatických dat a budoucích scénářů klimatické změny. Z modelových studií usoudili, že změny ve srážkách by měly mít za následek větší procentuelní změny v odtoku. Ke stejnému závěru došel Najjar (1999, sec. Ma et al. 2008), který odhadoval dopady klimatické změny v Severní Americe. Zjistil, že změny v množství srážek vyvolávají až dvakrát větší procento změn v odtoku. Změny teploty (potažmo výparu) byly naopak jen velmi málo korelovatelné se změnou odtoku a nebyly významně srovnatelné se změnami ve srážkách. Analytickým hodnocením změn klimatických veličin na odtok se v České republice zabývali Kliment a Matoušková (2007, 2009) a Ledvinka (2008), využití modelových přístupů se snažili aplikovat Kašpárek et al. (2006) a Novický et al. (2006).

Navzdory velké pozornosti zaměřené na klimatickou změnu a její společné dopady zůstává stále výrazná nejistota jak ze strany velikosti, tak načasování změn v hydrologickém režimu, které mohou nastat nebo už nastaly. Pro zvýšení důvěryhodnosti současných modelovacích technik a scénářů je důležité, že dopady na hydrologický režim, které jsou ve vztahu ke klimatické změně, jsou potvrzeny díky analýzám hydrologických záznamů. Detekce těchto změn je však ztížena vnitřní variabilitou a skutečnou náhodností všech hydrologických proměnných. Je proto obtížné rozlišit mezi přirozenou variabilitou a odezvou klimatické změny. Hlavním problémem je oddělit signál plynoucí z dopadů klimatické změny od ruchu, který je

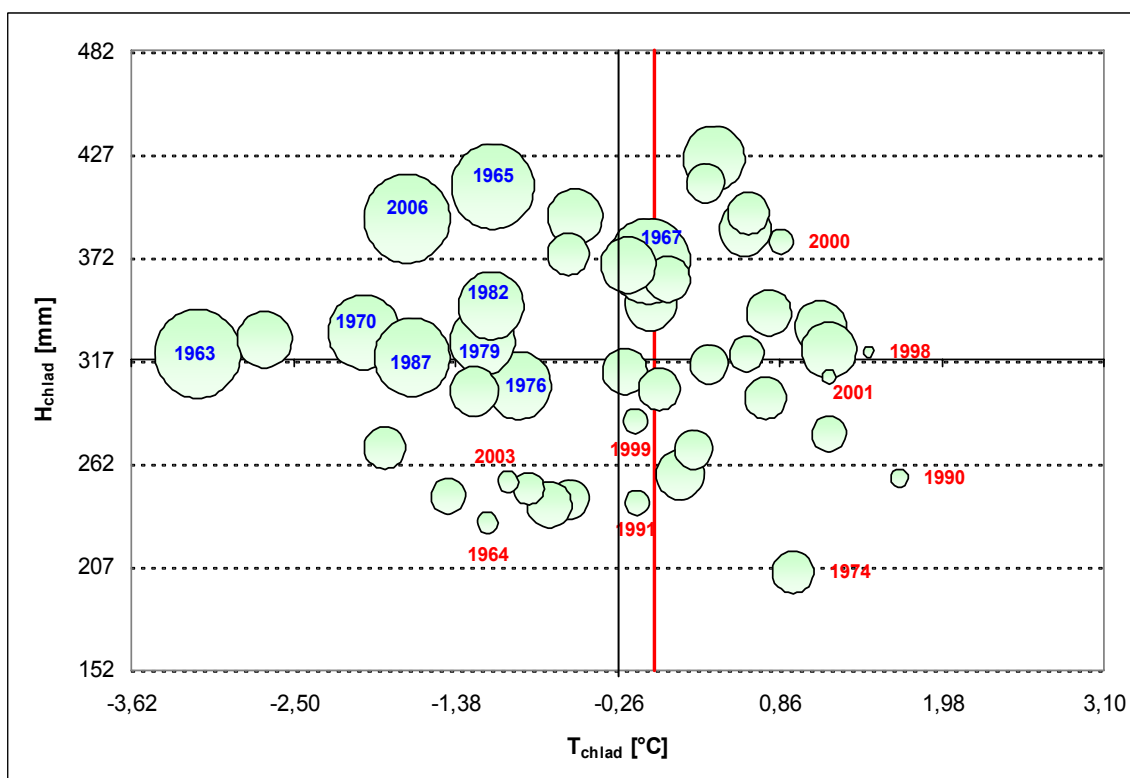
přirozenou částí hydrologického záznamu. Komplikace může navíc často nastat interakcí člověka s přírodním prostředím. (Burn 1994)

5.4.2 Vliv změny klimatických veličin na hydrologický režim v povodí Opavy

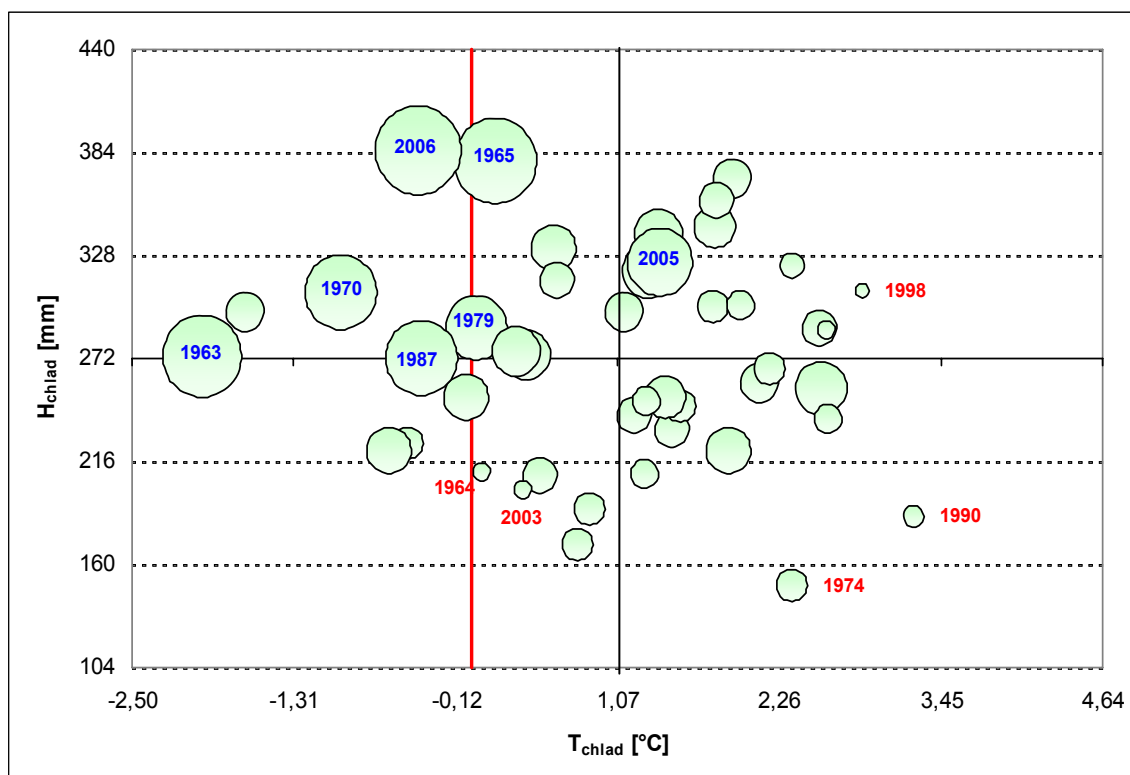
V povodí Opavy a Opavice byly sledovány tři klimatické veličiny – srážky, teplota vzduchu a sněhová pokrývka. U všech tří proměnných byly orografickou interpolací v Arcview spočteny sezónní výšky na povodí za chladný hydrologický půlrok v období 1962 – 2006. Chladný půlrok byl vybrán záměrně, aby mohly být v jednom grafu prezentovány všechny tři veličiny naráz s co největší vypovídací hodnotou (to by u ukazatele sněhové pokrývky bylo v teplém půlroce splněno jen těžko). Následně byly všechny klimatické prvky zobrazeny v kartézském systému souřadnic. Na hlavní ose X je vynesena průměrná teplota v chladném půlroce, vedlejší osa Y znázorňuje výšku srážek v chladném půlroce. Výška sněhové pokrývky je zobrazena jako průměr kruhu, kdy 1 cm odpovídá 45 cm výšky sněhové pokrývky v povodí Opavy a 30 cm v povodí Opavice. Červená svislá čára pak ukazuje nulovou izotermu, která hraje významnou roli při tání sněhové pokrývky. Počátek soustavy souřadnic je položen v hodnotách $[M_x; M_y]$, které značí T_a , resp. H_a v chladném půlroce za období 1962 – 2006.

Obr. 5.20 a 5.21 ukazují vztahy mezi jednotlivými veličinami v chladném půlroce na povodí Opavy a Opavice. Je zřejmé a pochopitelné, že se ve srážkově nadprůměrných a v teplotně podprůměrných chladných půlrocích vyskytovala na obou povodích mocná sněhová pokrývka. V tom ohledu vyčnívají roky 1965 a 2006. Logicky se naopak nevyvíjí téměř žádná sněhová pokrývka ve srážkově podprůměrných a teplotně nadprůměrných letech. Dá se vysledovat, že se v posledních dvou desetiletích zvýšila frekvence výskytu let s malou výškou sněhové pokrývky. Nelze však s jistotou určit, který z faktorů se na poklesu sněhové pokrývky účastní nejvíce; zda množství srážek (sezóna 2003), teplota vzduchu (sezóna 2000) nebo oba faktory navzájem (sezóna 1990).

Další, tentokrát srážkovo-teplotní rozbor, byl proveden také na jednotlivých klimatologických stanicích v obou povodích. V Přílohách 10 a 11 jsou uvedeny vybrané příklady pro stanice Město Albrechtice-Žáry a Praděd. Analýza byla založena na sledování vývoje T_r a H_r v záznamově dostupném období (u Pradědu



Obr. 5.20: Sezónní výšky klimatických prvků v povodí Opavy (1962-2006)
(Zdroj: ČHMÚ)



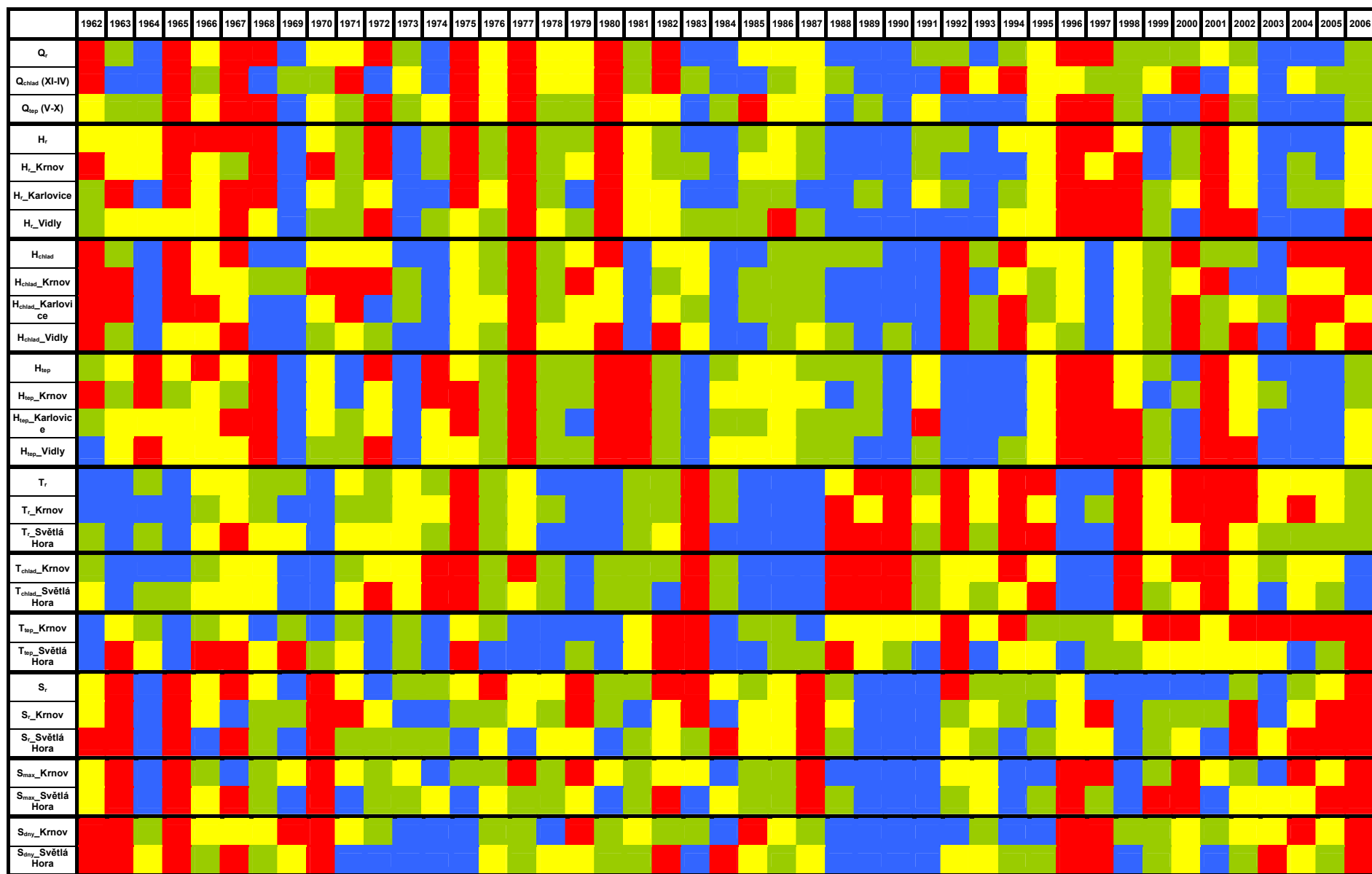
Obr. 5.21: Sezónní výšky klimatických prvků v povodí Opavice (1962-2006)
(Zdroj: ČHMÚ)

musela být doba pozorování zkrácena z důvodu ukončení provozu). Bylo provedeno rozdělení časové řady do zhruba čtyř stejně dlouhých období a sledovala se meziroční variabilita obou klimatických prvků. Obě veličiny byly opět znázorněny v kartézské soustavě souřadnic s počátkem v bodě $[M_x; M_y]$. Navíc byly v grafech zobrazeny dlouhodobé průměry jednotlivých období, které měly jednoduše a názorně charakterizovat převládající klimatické podmínky daného období.

Kromě druhého údobí (1973 – 1983), které se vyznačovalo průměrnými srážkami a teplotami, byly ostatní periody něčím charakteristické. První perioda (1962 – 1972) byla teplotně a vlhkostně nadprůměrná, kdy se pouze rok 1969 vymykal těmto podmínkám. Třetí údobí (1984 – 1994) bylo naopak velmi suché. Ve Městě Albrechticích nebyl v žádném z těchto let překonán H_a a na Pradědu pouze jednou v roce 1994. Poslední období (1995 – 2006), kdy už nebyla k dispozici data pro stanici Praděd, se vyznačovalo vysokými teplotami, což bylo potvrzeno také hodnotami z okolních stanic (Krnov, Opava, Červená). Jen v letech 1996 a 1997 panovaly na povodí Opavy podprůměrné teploty.

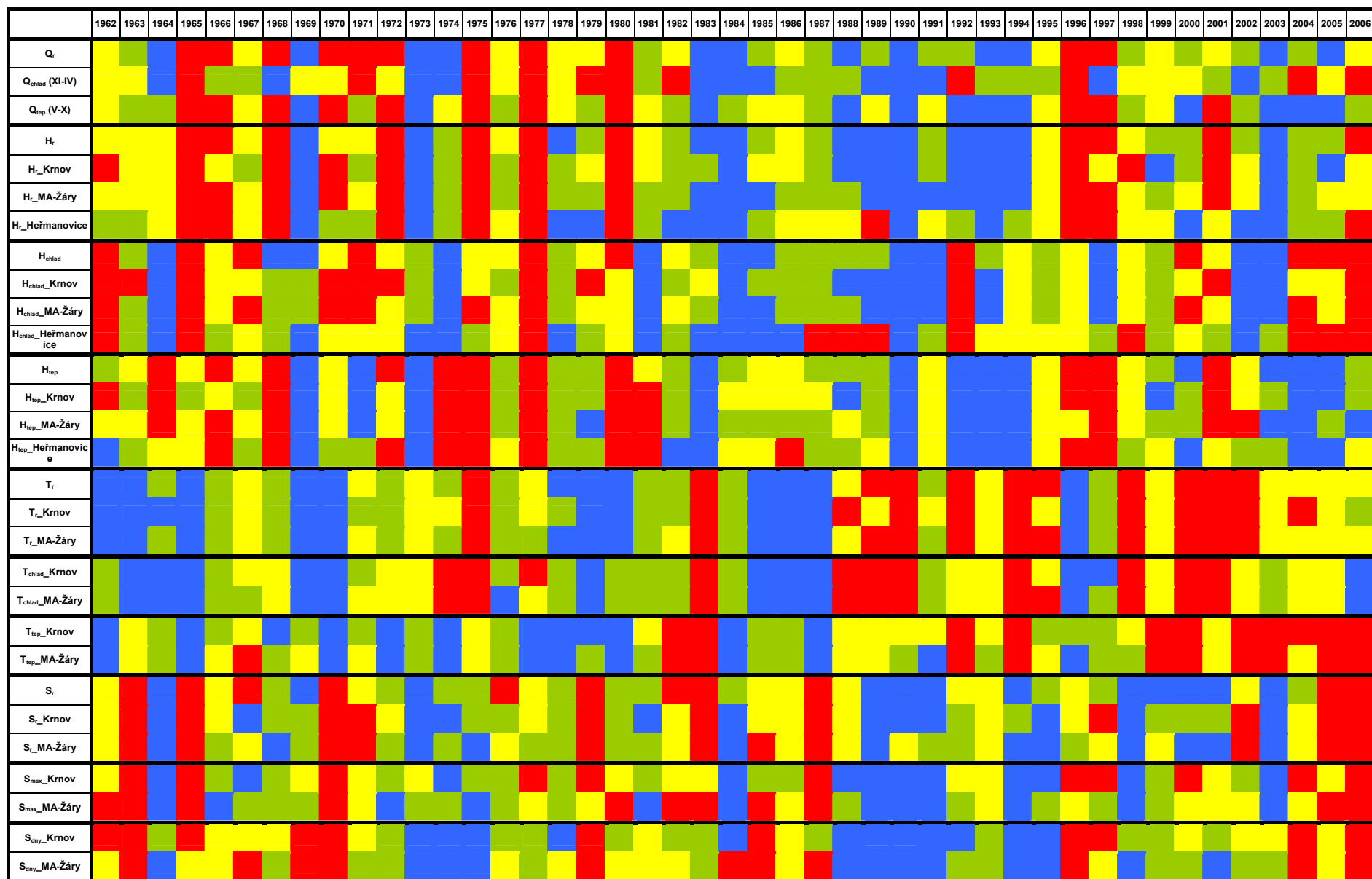
Komplexní zhodnocení hydroklimatických podmínek v obou povodích za období 1962 – 2006 přináší Obr. 5.22 a 5.23. Byly vybrány proměnné, které měly co nejlépe a co nejúplněji charakterizovat hydrologické a klimatické podmínky v povodí Opavy a Opavice. Jejich výčet najdete v Příloze 15. Hodnoty každé proměnné byly rozčleněny do čtyř kvartilů a každému z nich bylo přiřknuto barevné označení. Modrá barva tak představuje hodnoty prvního kvartilu (velmi podprůměrné hodnoty), zelená barva druhý kvartil (podprůměrné hodnoty), žlutá třetí kvartil (nadprůměrné hodnoty) a červená čtvrtý kvartil (velmi nadprůměrné hodnoty). Tuto kvartilovou metodu úspěšně aplikovali také Kliment a Matoušková (2007, 2009) a Ledvinka (2008).

Obě povodí se od sebe nijak výrazně neodlišují a na obou lze vysledovat podobné závislosti mezi klimatickými prvky a odtokem. Z grafů lze vyčíst zřetelnou závislost mezi srážkami a odtokem, kdy na velmi podprůměrné srážkové úhrny v období 1983 – 1994 reagovala obě povodí malou odtokovou odezvou. Tomu předcházely dvě vlhké periody ve druhé polovině 60. a 70.let, na kterých se kromě vyšších srážkových úhrnů podílelo také tání hojné sněhové pokrývky v chladném půlroce. Úbytek humidity od konce 80.let mohlo provázet zvýšení evapotranspirace v důsledku nárůstu teploty vzduchu. V zimním období tomu mohl napomáhat i výskyt mocné sněhové pokrývky. To by odpovídala situace v několika posledních letech, kdy byly podprůměrné srážky v chladném půlroce akumulovány ve sněhu.



Obr. 5.22: Komplexní zhodnocení hydroklimatických podmínek v povodí Opavy (1962-2006)

(Zdroj: ČHMÚ)



Obr. 5.23: Komplexní zhodnocení hydroklimatických podmínek v povodí Opavice (1962-2006)

(Zdroj: ČHMÚ)

6. TESTOVÁNÍ HOMOGENITY ČASOVÝCH ŘAD

6.1 Absolutní homogenita

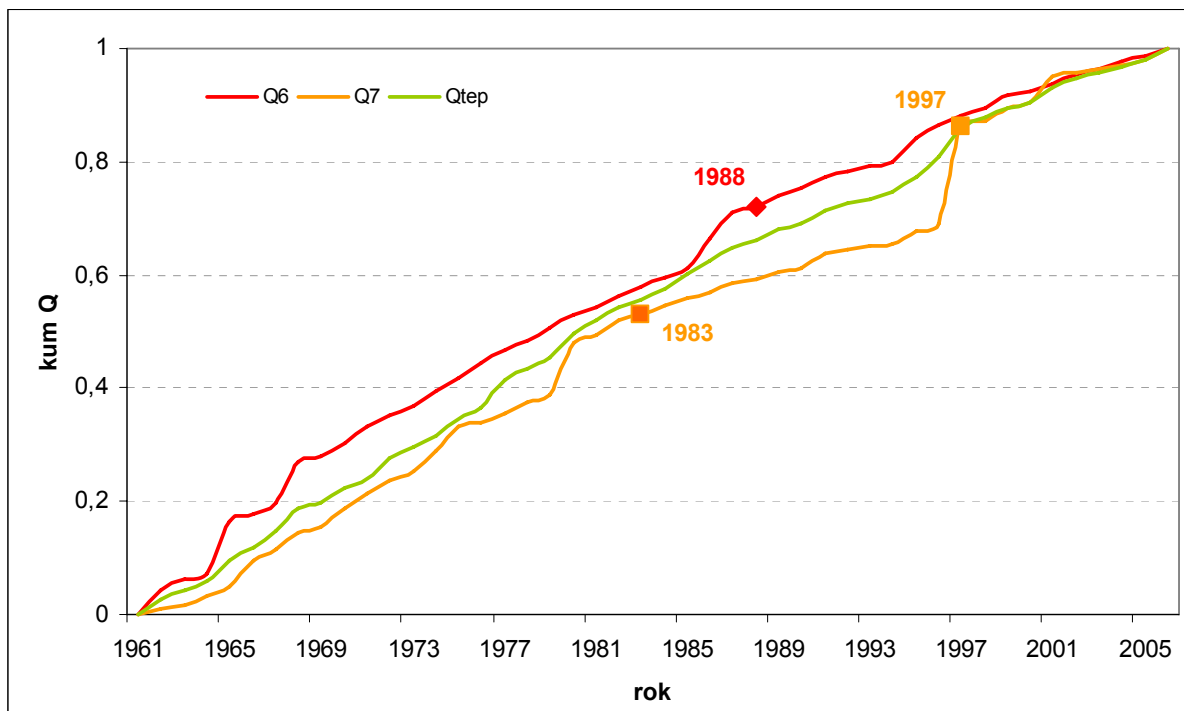
Testování absolutní homogenity bylo prováděno u všech průtokových časových řad, řad výšek srážek a teplotních a sněhových řad za jednotlivé klimatologické stanice, které byly k dispozici. Testována byla data v období 1962 – 2006, tzn. v délce 45 let. Pouze u klimatologické stanice Praděd bylo vyšetřované období ze známých důvodů zkráceno jen na 36 let (tedy do roku 1997). Průtokové řady bylo mimoto prozkoumány také v jejich kompletní délce, tj. od roku 1953 (54 let).

Pro srážky a průtoky byl jako základní test absolutní homogenity vybrán Pettittův test, pro teploty a sníh naopak SNHT (v softwaru AnClim). Pro případné potvrzení či vyvrácení roku porušení homogenity byly ještě aplikovány dvouvýběrový Wilcoxonův test a Kruskal-Wallisův test (v SPSS). Výsledky všech testů včetně detekovaných roků změny jsou shrnuty v Tab. 6.1 – 6.5. Kromě výše uvedených testů byl pro srážková data použit ještě von Neumannův test, který však žádné nehomogenity neprokázal. Pro všechny aplikované testy homogenity byla zvolena shodná hladina významnosti 0,05.

6.1.1 Měsíční řady

Pettittův test detekoval na Opavě nehomogenity v průtocích v květnu, červnu a červenci. U všech měsíců byl rok změny vysledován v 80.letech, což vznáší domněnku stavící se proti stacionaritě podmínek v této dekádě. Všechny zjištěné roky změny byly nalezeny i Wilcoxonovým testem a roky 1988 (červen) a 1983 (červenec) byly potvrzeny také u kompletních řad průtoků. Pro srovnání byly pro tyto měsíce zkonstruovány také jednoduché součtové čáry (Obr. 6.1). Obě mají velmi komplikovaný průběh s více zlomy, než našel Pettittův test. U červencové řady můžeme stěží potvrdit rok 1983, vhodněji by se nabízely jiné roky. Červnová řada pak spíše ukazuje inhomogenitu o rok dříve, tedy v roce 1987. Na průběhu součtové čáry se výrazně podepisují také extrémní odtokové události, což je vidět u výkyvu způsobeným povodňovým rokem 1997. Na druhou stranu se nepotvrdila žádná

spojitost nehomogenit v průtokových řadách se srážkami. Ty se kromě březnové řady jevily homogenně.



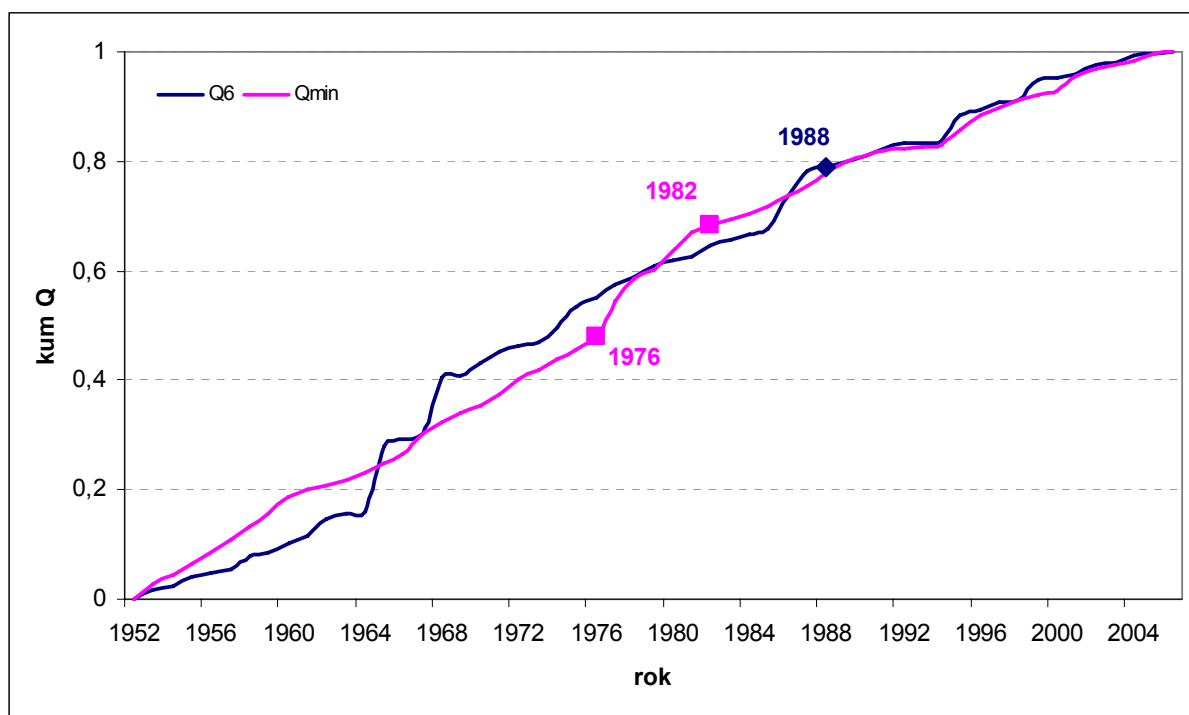
Obr. 6.1: Jednoduché součtové čáry průtoků pro povodí Opavy

(Zdroj: ČHMÚ)

V povodí Opavice je situace týkající se průtoků obdobná. Opět byly prokázány nehomogenity v květnových a červnových řadách, při vyšetřování kompletních řad se navíc přidal i červenec. V červnu a červenci byly znovu potvrzeny roky změny 1988, resp. 1983. Při pohledu na Obr. 6.2 je možné v případě červnové řady konstatovat stejné závěry jako u Opavy. Nalezené nehomogenity opět potvrdil i Wilcoxonův test. Kromě toho byla podle Pettittova testu nehomogenní i říjnová řada průtoků a to dokonce ve dvou letech (1982 a 1974). To následně Wilcoxonův ani Kruskal-Wallisův test nevyvrátily.

U teplot byla interpretace pro obě povodí složitější nejen z toho pohledu, že byla sledována homogenita pouze u jednotlivých stanic. Bylo totiž zaznamenáno mnoho zlomových roků v blízkosti začátku nebo konce časové řady, což při použití SNHT nabádá k opatrnosti (viz Kap. 2.2.3). Kvůli nesplnění předpokladu o minimální délce řady nebylo možné k ověření použít ani dvouvýběrový Wilcoxonův test. I přes tyto nedostatky bylo možné vysledovat některé shody.

U dubnových řad stanic Červená, Krnov a Město Albrechtice byly nalezeny zlomové body v roce 1998, v roce 1988 pak u srpnových řad. Rok 1988 mohl být navíc stvrzen i Wilcoxonovým testem. Shoda v nehomogenitě se projevila také v prosincových řadách na stanicích Červená, Město Albrechtice a Praděd, kdy byl detekován rok 1971. Naprosto homogenní se ukázaly měsíční řady v Opavě a Světlé Hoře. Častými teplotními inhomogenitami (v pěti měsících) naopak trpěla klimatologická stanice v Krnově. Podle zjištěných let však na vině nebyla relokační stanice.



Obr. 6.2: Jednoduché součtové čáry průtoků pro povodí Opavice
(Zdroj: ČHMÚ)

Při hodnocení homogenity sněhových řad se stejně jako u teplot projevila nedostatek SNHT. Opět bylo vystopováno mnoho nehomogenních řad, kdy se zlom vyskytoval buď na začátku nebo na konci řady. Významně se na stanicích Světlá Hora a Město Albrechtice objevoval rok 2005 u únorové a březnové výšky sněhové pokrývky a také rok 2004 u březnových řad počtu dní se sněhovou pokrývkou, resp. výškou sněhové pokrývky, v Krnově a v Opavě. Obdobně byly nalezeny zlomy v 60. letech, jako např. rok 1966 u únorové řady výšky sněhové pokrývky v Opavě, Červené a Měste Albrechticích. Při pohledu na Obr. 5.22 a 5.23 je zřejmé, že se v těchto letech změnily sněhové podmínky ve srovnání s lety předcházející, ale

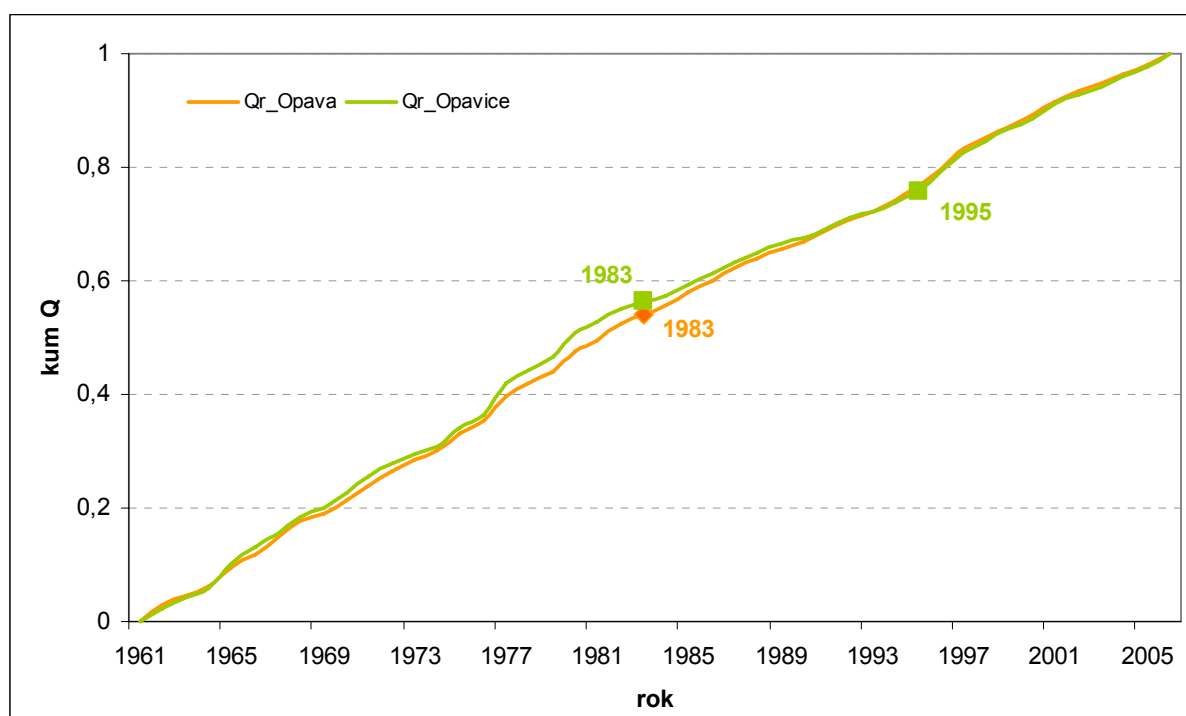
přesto by si autor i s ohledem na délku sledovaných řad nedovolil tvrdit, že se jedná o nějakou uměle vyvolanou inhomogenitu. Více by se přikláněl opět k roku 1988, který byl zaznamenán v únorových řadách výšky sněhové pokrývky na Pradědu a v Červené. Navíc mohla být jeho pravdivost potvrzena také Wilcoxonovým testem.

6.1.2 Sezónní a roční řady

Sezónní nehomogenita byla zaznamenána pouze u řady průtoků teplého půlroku na Opavě. Zlomovým bodem byl opět rok 1988. Znovu se tedy potvrdila výjimečnost tohoto roku napříč celým spektrem hydroklimatických veličin. Srážkové řady byly homogenní, a tak se na změnách v průtocích podílet nemohly. Zhruba ve stejném období se ale naopak vyskytly nehomogenity v teplotních řadách teplých půlroků ve stanicích Červená (1992) a Krnov (1988). Je obtížné mluvit v tomto případě o nějaké silné příčinné souvislosti, ale nějakou roli mohla změna teploty na velikost průtoků v teplém půlroce mít.

Na obou tocích byla nehomogenita v řadách ročních průtoků zaregistrována v roce 1983, na Opavici Pettittův test našel ještě podružný rok 1995. (Obr. 6.3) Tyto roky téměř přesně odpovídají i změnám v ročních srážkách na Opavici a stvrzují je i Wilcoxonův a Kruskal-Wallisův test. Zdá se tedy, že se změny ve srážkách projevují na ročních průtocích v povodí Opavice těsněji než v povodí Opavy. Na vině může být rozdílná velikost obou povodí, kdy menší povodí Opavice citlivěji a rychleji reaguje na vnější podněty. Je bezesporu, že jedním takovým podnětem bylo i srážkově chudé období 1983 – 1995, které Pettittův test objevil naprosto přesně a které mělo vliv i na nehomogenitu v průtocích. V povodí Opavy sice Pettitt také u průtoků potvrdil významnost roku 1983, ale změnám ve srážkách to nepřisuzoval.

Podobný případ můžeme sledovat i u časové řady minimálních průtoků. Na Opavě byla tato řada homogenní, ale na Opavici byly nalezeny roky 1982 a 1976 a to dokonce i v kompletní řadě minimálních průtoků. Tento zjevný výkyv (zvýšení minimálních průtoků), potvrzený také jednoduchou součtovou řadou (Obr. 6.2), mohl být zapříčiněn kombinací většího množství spadlých srážek a mocnější sněhovou pokrývkou v období 1976 – 1982. Tím byly nadlepšovány zásoby podzemních vod, které pak mohly spolehlivě dotovat vodní toky v bezsrážkových obdobích. Ani ve srážkách, ani ve sněhové pokrývce ale žádné inhomogenity zjištěny nebyly.



Obr. 6.3: Jednoduché součtové čáry Q_r na Opavě a Opavici

(Zdroj: ČHMÚ)

Časové řady T_r byly nehomogenní opět jen ve stanicích Červená, Krnov a Město Albrechtice, kde byl už poněkolkáté potvrzen rok změny 1988. Není náhodou, že poměrně velké množství časových řad ztrácí svoji homogenitu právě v tomto roce, od kterého započalo výrazné oteplení klimatu v obou povodích (Obr. 5.22 a 5.23).

Jako podružný rok výskytu nehomogenity byl rok 1988 zaznamenán také v řadě roční výšky sněhové pokrývky na stanici Červená. Jinak se ale inhomogenita ve sněhových řadách objevovala znovu hlavně v exponovaných místech řad (rok 2005 u Světlé Hory a Města Albrechtic). Na potvrzení těchto nehomogenních roků je ale nutné pracovat s reprezentativnějšími a delšími výběry časových řad.

6.2 Relativní homogenita

K posouzení relativní homogenity časových řad byly užity Alexanderssonův test (v AnClimu) a jednovýběrový Wilcoxonův test (v SPSS). Kromě toho byly v některých případech sestaveny i podvojně součtové čáry. Výsledky analýz relativní homogenity jsou shrnuty v Tab. 6.1, 6.2 a 6.5.

Řada	Absolutní homogenita						Relativní homogenita		Absolutní homogenita					
	n	Von Neuman	Pettittův test	Rok změny (+ podružný)	2V-Wilcoxon	Kruskal-Wallis	Alexandersson	1V-Wilcoxon	n	Pettittův test	Rok změny (+ podružný)	2V-Wilcoxon	Kruskal-Wallis	
Q ₁₁	45	-	ano	-	-	-	-	-	54	ano	-	-	-	
Q ₁₂	45	-	ano	-	-	-	-	-	54	ano	-	-	-	
Q ₁	45	-	ano	-	-	-	-	-	54	ne	1974	ne	-	
Q ₂	45	-	ano	-	-	-	-	-	54	ano	-	-	-	
Q ₃	45	-	ano	-	-	-	-	-	54	ano	-	-	-	
Q ₄	45	-	ano	-	-	-	-	-	54	ano	-	-	-	
Q ₅	45	-	ne	1985	ne	-	ano	ano	54	ano	-	-	-	
Q ₆	45	-	ne	1988	ne	-	ano	ano	54	ne	1988	ne	-	
Q ₇	45	-	ne	1983	ne	-	ano	ano	54	ne	1983	ne	-	
Q ₈	45	-	ano	-	-	-	-	-	54	ano	-	-	-	
Q ₉	45	-	ano	-	-	-	-	-	54	ano	-	-	-	
Q ₁₀	45	-	ano	-	-	-	-	-	54	ano	-	-	-	
Q _r	45	-	ne	1983	ne	-	ano	ano	54	ano	-	-	-	
Q _{chlád}	45	-	ano	-	-	-	-	-	54	ano	-	-	-	
Q _{tep}	45	-	ne	1988	ne	-	ano	ano	54	ano	-	-	-	
Q _{min}	45	-	ano	-	-	-	-	-	54	ne	1965	ne	-	
H ₁₁	45	ano	ano	-	-	-	Tab. 6.1: Homogenita průtokových a srážkových řad v období 1962-2006, resp. 1953-2006 v povodí Opavy (Zdroj: ČHMÚ)							
H ₁₂	45	ano	ano	-	-	-								
H ₁	45	ano	ano	-	-	-								
H ₂	45	ano	ano	-	-	-								
H ₃	45	ano	ne	1992	ne	-								
H ₄	45	ano	ano	-	-	-								
H ₅	45	ano	ano	-	-	-								
H ₆	45	ano	ano	-	-	-								
H ₇	45	ano	ano	-	-	-								
H ₈	45	ano	ano	-	-	-								
H ₉	45	ano	ano	-	-	-								
H ₁₀	45	ano	ano	-	-	-								
H _r	45	ano	ano	-	-	-								
H _{chlád}	45	ano	ano	-	-	-								
H _{tep}	45	ano	ano	-	-	-								

Řada	Absolutní homogenita						Relativní homogenita		Absolutní homogenita				
	n	Von Neuman	Pettittův test	Rok změny (+ podružný)	2V-Wilcoxon	Kruskal-Wallis	Alexandersson	1V-Wilcoxon	n	Pettittův test	Rok změny (+ podružný)	2V-Wilcoxon	Kruskal-Wallis
Q ₁₁	45	-	ano	-	-	-	-	-	54	ano	-	-	-
Q ₁₂	45	-	ano	-	-	-	-	-	54	ano	-	-	-
Q ₁	45	-	ano	-	-	-	-	-	54	ano	-	-	-
Q ₂	45	-	ano	-	-	-	-	-	54	ano	-	-	-
Q ₃	45	-	ano	-	-	-	-	-	54	ano	-	-	-
Q ₄	45	-	ano	-	-	-	-	-	54	ano	-	-	-
Q ₅	45	-	ne	1981	ne	-	ano	ano	54	ano	-	-	-
Q ₆	45	-	ne	1988	ne	-	ano	ano	54	ne	1988	ne	-
Q ₇	45	-	ano	-	-	-	-	-	54	ne	1983	ne	-
Q ₈	45	-	ano	-	-	-	-	-	54	ano	-	-	-
Q ₉	45	-	ano	-	-	-	-	-	54	ano	-	-	-
Q ₁₀	45	-	ne	1982 (+1974)	ne	ne	ano	ano	54	ano	-	-	-
Q _r	45	-	ne	1983 (+1995)	ne	ne	ano*	ano*	54	ano	-	-	-
Q _{chlad}	45	-	ano	-	-	-	-	-	54	ano	-	-	-
Q _{tep}	45	-	ano	-	-	-	-	-	54	ano	-	-	-
Q _{min}	45	-	ne	1982 (+1976)	ne	ne	ano*	ano*	54	ne	1982 (+1976)	ne	ne
H ₁₁	45	ano	ano	-	-	-	<p>Tab. 6.2: Homogenita průtokových a srážkových řad v období 1962-2006, resp. 1953-2006 v povodí Opavice (Zdroj: ČHMÚ)</p> <p>* Pozn.: Jako srovnávací řada byla použita referenční řada roční výšky srážek vytvořená z hodnot pro stanice Opava, Karlovice a Heřmanovice</p>						
H ₁₂	45	ano	ano	-	-	-							
H ₁	45	ano	ano	-	-	-							
H ₂	45	ano	ano	-	-	-							
H ₃	45	ano	ano	-	-	-							
H ₄	45	ano	ano	-	-	-							
H ₅	45	ano	ano	-	-	-							
H ₆	45	ano	ano	-	-	-							
H ₇	45	ano	ano	-	-	-							
H ₈	45	ano	ano	-	-	-							
H ₉	45	ano	ano	-	-	-							
H ₁₀	45	ano	ano	-	-	-							
H _r	45	ano	ne	1982 (+1995)	ne	ne							
H _{chlad}	45	ano	ano	-	-	-							
H _{tep}	45	ano	ano	-	-	-							
H _{ref}	45	ano	ano	-	-	-							

Tab. 6.3: Homogenita teplotních a sněhových řad ve stanicích Červená, Krnov a Opava (1962-2006)

Červená						Krnov						Opava					
Absolutní homogenita						Absolutní homogenita						Absolutní homogenita					
Řada	n	SNHT	Rok změny (+ podružný)	2V-Wilcoxon	Kruskal-Wallis	Řada	n	SNHT	Rok změny (+ podružný)	2V-Wilcoxon	Kruskal-Wallis	Řada	n	SNHT	Rok změny (+ podružný)	2V-Wilcoxon	Kruskal-Wallis
T ₁₁	45	ano	-	-	-	T ₁₁	45	ano	-	-	-	T ₁₁	45	ano	-	-	-
T ₁₂	45	ne	1971	nelze	-	T ₁₂	45	ano	-	-	-	T ₁₂	45	ano	-	-	-
T ₁	45	ano	-	-	-	T ₁	45	ano	-	-	-	T ₁	45	ano	-	-	-
T ₂	45	ano	-	-	-	T ₂	45	ano	-	-	-	T ₂	45	ano	-	-	-
T ₃	45	ano	-	-	-	T ₃	45	ano	-	-	-	T ₃	45	ano	-	-	-
T ₄	45	ne	1998	nelze	-	T ₄	45	ne	1998	nelze	-	T ₄	45	ano	-	-	-
T ₅	45	ano	-	-	-	T ₅	45	ne	1992	ne	-	T ₅	45	ano	-	-	-
T ₆	45	ano	-	-	-	T ₆	45	ne	1991	ne	-	T ₆	45	ano	-	-	-
T ₇	45	ne	2006	nelze	-	T ₇	45	ne	1991	ne	-	T ₇	45	ano	-	-	-
T ₈	45	ne	1988	ne	-	T ₈	45	ne	1988	ne	-	T ₈	45	ano	-	-	-
T ₉	45	ano	-	-	-	T ₉	45	ano	-	-	-	T ₉	45	ano	-	-	-
T ₁₀	45	ano	-	-	-	T ₁₀	45	ano	-	-	-	T ₁₀	45	ano	-	-	-
T _r	45	ne	1988	ne	-	T _r	45	ne	1988	ne	-	T _r	45	ano	-	-	-
T _{chlád}	45	ne	1971	nelze	-	T _{chlád}	45	ano	-	-	-	T _{chlád}	45	ano	-	-	-
T _{top}	45	ne	1992	ne	-	T _{top}	45	ne	1988	ne	-	T _{top}	45	ano	-	-	-
S ₁₁	45	ano	-	-	-	S ₁₁	45	ano	-	-	-	S ₁₁	45	ano	-	-	-
S ₁₂	45	ano	-	-	-	S ₁₂	45	ano	-	-	-	S ₁₂	45	ano	-	-	-
S ₁	45	ne	1968	nelze	-	S ₁	45	ano	-	-	-	S ₁	45	ano	-	-	-
S ₂	45	ne	1966 (+1988)	ne	ne	S ₂	45	ne	1964 (+2006)	nelze	ne	S ₂	45	ne	1966	nelze	-
S ₃	45	ne	1971	nelze	-	S ₃	45	ne	2004	nelze	-	S ₃	45	ano	-	-	-
S ₄	45	ano	-	-	-	S ₄	45	ano	-	-	-	S ₄	45	ano	-	-	-
S _r	45	ne	1971 (+1988)	ne	ne	S _r	45	ano	-	-	-	S _r	45	ano	-	-	-
PD ₁₁	45	ano	-	-	-	PD ₁₁	45	ano	-	-	-	PD ₁₁	45	ano	-	-	-
PD ₁₂	45	ano	-	-	-	PD ₁₂	45	ano	-	-	-	PD ₁₂	45	ano	-	-	-
PD ₁	45	ano	-	-	-	PD ₁	45	ano	-	-	-	PD ₁	45	ano	-	-	-
PD ₂	45	ano	-	-	-	PD ₂	45	ano	-	-	-	PD ₂	45	ano	-	-	-
PD ₃	45	ano	-	-	-	PD ₃	45	ne	2004	nelze	-	PD ₃	45	ne	2004	nelze	-
PD ₄	45	ano	-	-	-	PD ₄	45	ano	-	-	-	PD ₄	45	ano	-	-	-
PD _r	45	ano	-	-	-	PD _r	45	ano	-	-	-	PD _r	45	ano	-	-	-

(Zdroj: ČHMÚ)

Tab. 6.4: Homogenita teplotních a sněhových řad ve stanicích Světlá Hora, Město Albrechtice-Žáry, Praděd (1962-2006, resp.1997)

Světlá Hora						MA-Žáry						Praděd					
Absolutní homogenita						Absolutní homogenita						Absolutní homogenita					
Řada	n	SNHT	Rok změny (+ podružný)	2V-Wilcoxon	Kruskal-Wallis	Řada	n	SNHT	Rok změny (+ podružný)	2V-Wilcoxon	Kruskal-Wallis	Řada	n	SNHT	Rok změny (+ podružný)	2V-Wilcoxon	Kruskal-Wallis
T ₁₁	45	ano	-	-	-	T ₁₁	45	ano	-	-	-	T ₁₁	36	ano	-	-	-
T ₁₂	45	ano	-	-	-	T ₁₂	45	ne	1971	nelze	-	T ₁₂	36	ne	1971	nelze	-
T ₁	45	ano	-	-	-	T ₁	45	ano	-	-	-	T ₁	36	ne	1988	ne	-
T ₂	45	ano	-	-	-	T ₂	45	ano	-	-	-	T ₂	36	ano	-	-	-
T ₃	45	ano	-	-	-	T ₃	45	ano	-	-	-	T ₃	36	ano	-	-	-
T ₄	45	ano	-	-	-	T ₄	45	ne	1998	nelze	-	T ₄	36	ano	-	-	-
T ₅	45	ano	-	-	-	T ₅	45	ano	-	-	-	T ₅	36	ano	-	-	-
T ₆	45	ano	-	-	-	T ₆	45	ano	-	-	-	T ₆	36	ano	-	-	-
T ₇	45	ano	-	-	-	T ₇	45	ano	-	-	-	T ₇	36	ano	-	-	-
T ₈	45	ano	-	-	-	T ₈	45	ne	1988	ne	-	T ₈	36	ano	-	-	-
T ₉	45	ano	-	-	-	T ₉	45	ano	-	-	-	T ₉	36	ano	-	-	-
T ₁₀	45	ano	-	-	-	T ₁₀	45	ano	-	-	-	T ₁₀	36	ano	-	-	-
T _r	45	ano	-	-	-	T _r	45	ne	1988	ne	-	T _r	36	ano	-	-	-
T _{chlád}	45	ano	-	-	-	T _{chlád}	45	ano	-	-	-	T _{chlád}	36	ano	-	-	-
T _{tep}	45	ano	-	-	-	T _{tep}	45	ne	1999	nelze	-	T _{tep}	36	ano	-	-	-
S ₁₁	45	ano	-	-	-	S ₁₁	45	ano	-	-	-	S ₁₁	36	ano	-	-	-
S ₁₂	45	ano	-	-	-	S ₁₂	45	ano	-	-	-	S ₁₂	36	ano	-	-	-
S ₁	45	ano	-	-	-	S ₁	45	ano	-	-	-	S ₁	36	ano	-	-	-
S ₂	45	ne	2005 (+1964)	nelze	ne	S ₂	45	ne	1966 (+2005)	nelze	ne	S ₂	36	ne	1988	ne	-
S ₃	45	ne	2005 (+1966)	nelze	ne	S ₃	45	ne	2005 (+1972)	nelze	ne	S ₃	36	ano	-	-	-
S ₄	45	ano	-	-	-	S ₄	45	ano	-	-	-	S ₄	36	ano	-	-	-
S _r	45	ne	2005 (+1968)	nelze	ne	S _r	45	ne	2005	nelze	-	S _r	36	ano	-	-	-
PD ₁₁	45	ano	-	-	-	PD ₁₁	45	ano	-	-	-	PD ₁₁	36	ano	-	-	-
PD ₁₂	45	ano	-	-	-	PD ₁₂	45	ano	-	-	-	PD ₁₂	36	ano	-	-	-
PD ₁	45	ano	-	-	-	PD ₁	45	ano	-	-	-	PD ₁	36	ano	-	-	-
PD ₂	45	ano	-	-	-	PD ₂	45	ano	-	-	-	PD ₂	36	ano	-	-	-
PD ₃	45	ano	-	-	-	PD ₃	45	ano	-	-	-	PD ₃	36	ano	-	-	-
PD ₄	45	ano	-	-	-	PD ₄	45	ano	-	-	-	PD ₄	36	ne	1975	ne	-
PD _r	45	ne	1971	nelze	-	PD _r	45	ano	-	-	-	PD _r	36	ano	-	-	-

(Zdroj: ČHMÚ)

Tab. 6.5: Relativní homogenita teplotních řad ve stanicích Červená, Město Albrechtice-Žáry a Krnov (1962-2006)³

Červená	Relativní homogenita				MA-Žáry	Relativní homogenita				Krnov	Relativní homogenita			
Řada	n	Alexandersson	Rok změny	1V-Wilcoxon	Řada	n	Alexandersson	Rok změny	1V-Wilcoxon	Řada	n	Alexandersson	Rok změny	1V-Wilcoxon
T ₁₁	45	ano	-	ano	T ₁₁	45	ano	-	ano	T ₁₁	45	ano	-	ano
T ₁₂	45	ne	1968	ano	T ₁₂	45	ne	1972	ano	T ₁₂	45	ne	1968	ano
T ₁	45	ano	-	ano	T ₁	45	ano	-	ano	T ₁	45	ano	-	ano
T ₂	45	ano	-	ano	T ₂	45	ano	-	ano	T ₂	45	ano	-	ano
T ₃	45	ano	-	ano	T ₃	45	ano	-	ano	T ₃	45	ano	-	ano
T ₄	45	ano	-	ano	T ₄	45	ano	-	ano	T ₄	45	ne	1988	ano
T ₅	45	ne	1988	ano	T ₅	45	ne	1986	ano	T ₅	45	ne	1988	ano
T ₆	45	ano	-	ano	T ₆	45	ano	-	ano	T ₆	45	ne	1988	ano
T ₇	45	ano	-	ano	T ₇	45	ano	-	ano	T ₇	45	ne	1989	ano
T ₈	45	ne	1995	ano	T ₈	45	ne	2000	ano	T ₈	45	ne	1989	ano
T ₉	45	ne	2002	ano	T ₉	45	ne	2002	ano	T ₉	45	ne	1989	ano
T ₁₀	45	ne	1963	ano	T ₁₀	45	ano	-	ano	T ₁₀	45	ano	-	ano
T _r	45	ne	1985	ano	T _r	45	ne	1985	ano	T _r	45	ne	1985	ano
T _{chl}	45	ne	1968	ano	T _{chl}	45	ano	-	ano	T _{chl}	45	ne	1970	ano
T _{tep}	45	ano	-	ano	T _{tep}	45	ano	-	ano	T _{tep}	45	ne	1989	ano

(Zdroj: ČHMÚ)

³ Jako referenční řady použity teplotní řady stanice Opava

K otestování časových řad bylo třeba nejprve vybrat vhodné referenční řady, které budou splňovat předpoklad absolutní homogenity. Pro kandidátské průtokové řady byla vždy referenční řadou odpovídající srážková řada, tj. pro květnovou řadu průtoků na Opavě byla zvolena květnová řada srážek atd. Výjimka nastala u řady ročních průtoků na Opavici, pro kterou nesplňovala homogenitu příslušná řada roční výšky srážek. Proto byla v AnClimu spočtena modelová referenční řada, která byla vytvořena z H_r příslušejících stanic Opava, Karlovice a Heřmanovice. Následně byla prozkoušena, stejně jako předcházejících řad, absolutní homogenita, která potvrdila „nezávadnost“ této nově vzniklé řady.

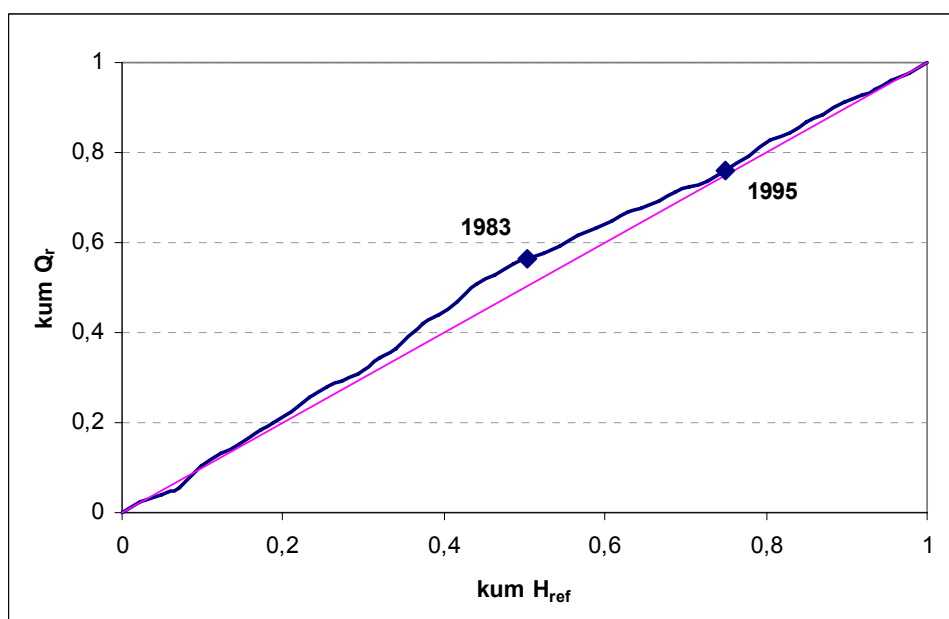
Nehomogenní teplotní řady byly srovnávány s homogenními řadami ze stanice Opava. Pouze v případě stanice Praděd se teploty relativní homogenitou netestovaly, protože chyběly referenční řady odpovídající spolehlivosti a podobnosti. Podle podmínek uváděných v Kap. 2.2.4 musely být analyzované řady před výpočtem nejdříve standardizovány na normální rozdělení.

6.2.1 Relativní homogenita průtoků

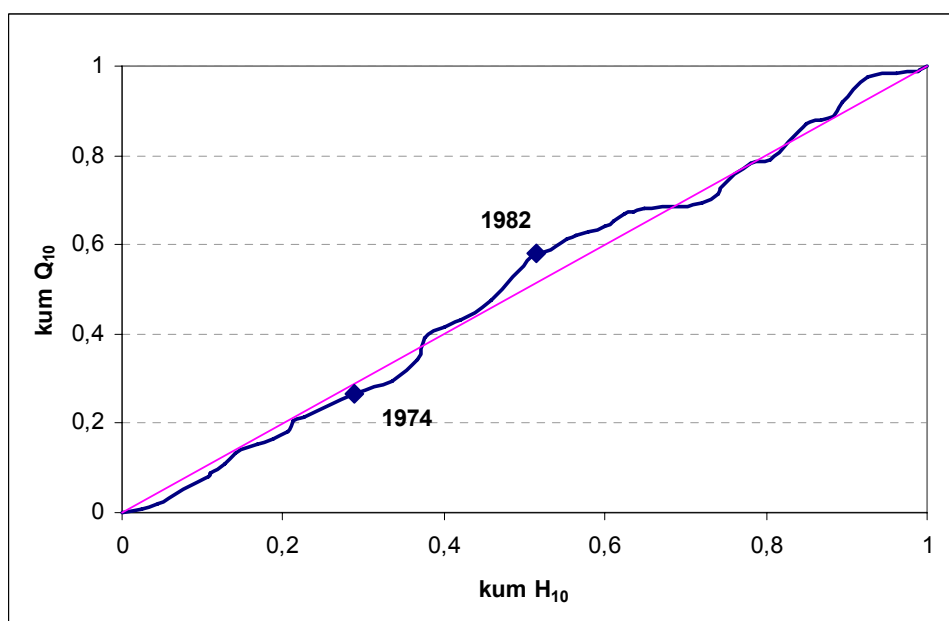
U průtokových řad nebyla ani jedním relativním testem nehomogenita pochybných řad potvrzena. Pouze u červencových průtoků a průtoků v teplém půlroce na Opavě našel Alexanderssonův test „inhomogenitu“ v letech 2006 resp. 1965. Tyto roky však nebyly po předchozích zkušenostech s nedostatky SNHT brány jako relevantní a řady byly označeny za homogenní.

Jiný názor si je možné udělat při pohledu na Obr. 6.4 a 6.5, které představují podvojně součtové čáry řad ročních a říjnových průtoků. Subjektivní hledisko spíše dává za pravdu Pettittovu testu, který považoval tyto řady za ovlivněné.

Výsledky byly také konfrontovány s jinými autory, kteří zjišťovali homogenitu průtokových řad v povodí Opavy. Kaňok (1997) zjistil s pomocí metody podvojně součtové čáry nehomogenitu v povodí Opavy i Opavice v roce 1965. Tento rok však následně nebyl potvrzen dvouvýběrovým Wilcoxonovým testem ani další metodou podle Jarůškové. Kulasová et al. (1996) sledovala změny mezi průtokovými režimy také pomocí podvojně součtové čáry. Na Opavě po vodoměrný profil Krnov zjistila významnější odchylky od přímého průběhu značící možnou nehomogenitu řady v několika rocích v 60. a 70. letech 20. stol. Nutno ale podotknout, že autoři měli k dispozici data za období 1953 – 1990, proto je porovnání výsledků zavádějící.



Obr. 6.4: Podvojná součtová čára Q_r a H_{ref} na Opavici (1962-2006)
(Zdroj: ČHMÚ)



Obr. 6.5: Podvojná součtová čára Q_{10} a H_{10} na Opavici (1962-2006)
(Zdroj: ČHMÚ)

6.2.2 Relativní homogenita teplot

Alexanderssonův test vybral (podobně jako SNHT) znovu až příliš mnoho nehomogenních řad, na něž je třeba nahlížet s rezervou. Přesto je možné si

všimnout některých pravidelností. Prosincové řady vykazují na všech třech stanicích nehomogenitu na přelomu 60. a 70.let. Podobným způsobem reagoval i SNHT, když objevil nehomogenitu v roce 1971. Velmi nehomogenně se opět projevuje stanice Krnov, kde jsou největší změny v měsíčních teplotách zaznamenávány v letech 1988 a 1989. Podporu u ostatních stanic lze nalézt pouze v květnové, srpnové a zářijové řadě, roky změny se ale u jednotlivých stanic i měsíců velmi liší. Absolutní souhlas byl naopak zjištěn v řadách ročních teplot, u nichž Alexanderssonův test informoval o nehomogenitě v roce 1985. Úplně tím však nekoresponduje s rokem 1988, který našel Pettittův test. Aplikování jednovýběrového Wilcoxonova testu na zvolené hladině významnosti nebylo příliš šťastné. Test se projevil jako velmi slabý a všechny řešené řady považoval za homogenní.

6.3 Shrnutí testování homogenity

Použité testy homogenity prokázaly výskyt inhomogenit v hydroklimatických řadách v povodí Opavy a Opavice. Nejvýznamnější změny v průtocích se udály v 80.letech, konkrétně v letech 1982 – 1983. Tyto roky byly detekovány v měsíčních, sezónních i ročních řadách průtoků. Podle dřívějšího rozboru klimatických podmínek se jedná o počátek delšího, srážkově podprůměrného období. Přesto se ale, s výjimkou řady ročních srážek na Opavici, další podobné nehomogenity ve srážkách neobjevily. Kromě toho navržené roky nepotvrdily ani účinnější testy relativní homogenity. Předpokládá se tedy, že se na změnách v odtoku podílejí také jiné vlivy.

Rozbory teplotních a sněhových řad byly postiženy nadměrným počtem nehomogenit, které detekovaly SNHT a Alexanderssonův test. Často se zlomy vyskytovaly na začátku nebo na konci řady, což je známým nedostatkem aplikovaných testů. Proto nemohly být tyto roky brány v potaz a bude nutné počkat na další vývoj v těchto časových řadách. Přes řečené nesnáze se však, především u teplot, objevily roky, jejichž pravdivost už významná být může. Jednalo se o roky druhé poloviny 80.let (1985, 1988), které byly potvrzeny jak absolutními, tak relativními testy. Od této doby započalo v povodí Opavy zjevné oteplování, jehož následky se pravděpodobně přenesly i do jiných sfér (např. ovlivnění červnových průtoků, únorových výšek sněhové pokrývky). Přesto není možné na příkladu 40 – 50letých řad dělat přehnané závěry a pro potvrzení vysledovaných nehomogenit je nutné analyzovat delší časové řady.

7. TRENDY A VZÁJEMNÉ VZTAHY V ČASOVÝCH ŘADÁCH

7.1 Detekce trendu

Pod pojmem trend si můžeme zjednodušeně představit dlouhodobou tendenci vývoje časové řady. Zajímá nás především z hlediska předpovědi budoucího vývoje sledované veličiny. V této práci byly testování existence trendu podrobeny všechny hydrologické i klimatické řady. Jelikož je trend projevem postupných dlouhodobých změn v prostředí, byly všechny řady ponechány v původním rozsahu a nebyly nikterak (ani po zjištění nehomogenity) zkracovány.

Trend byl vyšetřován pomocí Mann-Kendallova testu. Výpočty probíhaly v softwaru MS Excel v aplikaci MULTMK/PARTMK, kterou vyvinuli pracovníci univerzity v Linköpingu, Anders Grimvall a Claudia Libiseller. Zároveň byla testována významnost trendu na zvolené hladině významnosti 5 %. Následující kapitoly stručně pojednávají o zjištěných poznatcích.

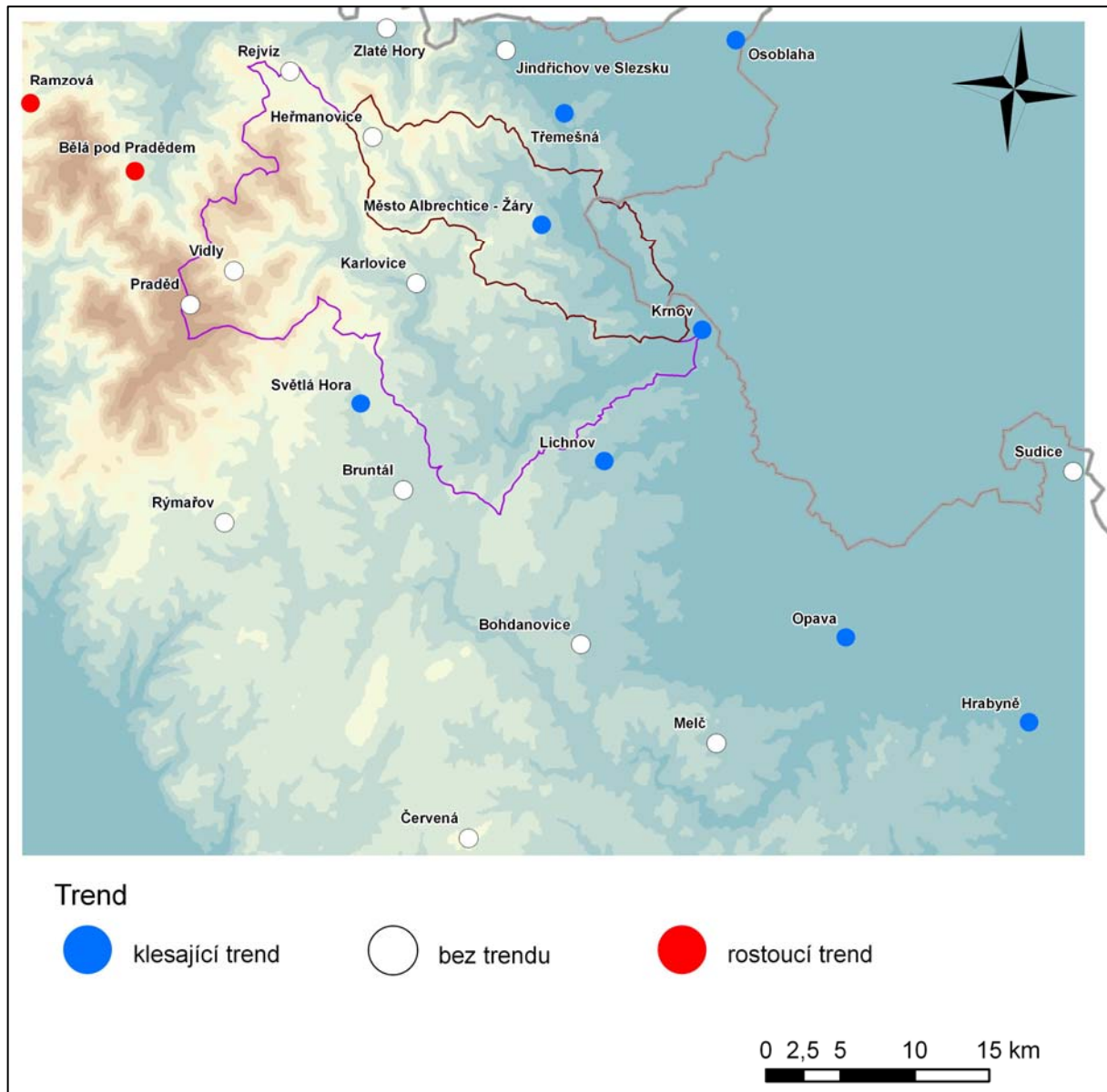
7.1.1 Dlouhodobé tendence ve srážkách a odtoku

Odtokové poměry v povodí Opavy a Opavice vykazují obecně sestupnou tendenci (Tab. 7.1). Signifikantní trend byl na Opavě zaznamenán v květnu, červnu a červenci, následně ještě v teplém půlroce a za celý rok. Vše tedy nasvědčuje snižování odtoku v teplém půlroce. Na Opavici se situace vyvíjí obdobně. Pokles průtoků lze vysledovat v květnu, červnu, v teplém půlroce a u řady minimálních průtoků. Zesiluje se tedy tlak na vodní zdroje v létě a hrozba hydrologického sucha. Velmi podobné trendy byly zaznamenány v povodí Ostružné a Blanice na Šumavě, kde se hodnocením srážkoodtokových vztahů zabývali Kliment a Matoušková (2009).

Na druhou stranu si je třeba uvědomit, že v téměř všech tendenčních řadách byla v předchozích analýzách zjištěna určitá nehomogenita, která mohla mít na výsledky trendu vliv. Proto je třeba na výsledné trendy nahlížet s odstupem.

Při testování časových řad výšek srážek žádná tendence ani na jednom z povodí vypátrána nebyla. Jinak tomu však bylo při hodnocení trendu v jednotlivých srážkoměrných stanicích. Na Obr. 7.1 jsou názorně vidět trendy v ročních srážkách za období 1962 – 2006. Na dvou nejzápadněji ležících stanicích (Ramzová a Bělá

pod Pradědem) byl zjištěn dlouhodobý nárůst srážek, který se projevuje hlavně v chladném půlroce (Příloha 12). Naopak ve východní části povodí a jeho okolí se vyskytují stanice s dlouhodobým poklesem ročních srážek. Na vině je ale tentokrát spíše teplý půlrok, jak je vidět v Příloze 13. Kompletní přehled trendů ve všech stanicích je k dispozici v Příloze 28.



Obr. 7.1: Dlouhodobý trend ročního úhrnu srážek v jednotlivých stanicích (1962-2006)

(Zdroj: ČHMÚ)

Spojitosť s tímto jevem by mohl mít návětrný efekt Hrubého a Nízkého Jeseníku a výskyt příčinné povětrnostní situace přinášející srážky. V chladném půlroce vypadávají na severozápadní návětrné straně Jeseníků kapalně srážky

nejčastěji při severozápadní a západní cyklonální situaci (NWc, Wc). Sněhové srážky naopak přináší severovýchodní cyklonální situace. (Brázdil et al. 2005) Cahynová a Huth (2007) ve svém příspěvku uvádějí, že na podzim, v zimě a na jaře (statisticky) významně přibývá dní s výskytem západní cyklonální situace (Wc). To by mohlo podpořit teorii o nárůstu kapalných srážek na západních a severozápadních svazích Jeseníků. Přesto by pro potvrzení či vyvrácení této teorie bylo třeba udělat podobné analýzy i na jiných stanicích ležících na západním úbočí Hrubého Jeseníku (např. Velké Losiny nebo Branná). Mimoto byla zjištěna nehomogenita u většiny srážkových řad (metodou von Neumanna), které rostoucí trend v obou stanicích potvrzovaly.

Dalo by se předpokládat, že úbytek srážek na východní straně Jeseníků by mohl být naopak způsoben poklesem četnosti severovýchodní cyklonální situace (NEc) v létě (teplém půlroce). Tuto skutečnost ale Cahynová s Huthem (2007) nepotvrzují. Je ale velmi pravděpodobné, že zjištěný úbytek srážek koresponduje s úbytkem odtoku na obou tocích. Stojí za povšimnutí, že se srážky zmenšují hlavně v nižších polohách. To, v konečném zúčtování s vyššími teplotami a výparem, způsobuje na dolním toku Opavy a Opavice sušší podmínky v teplém půlroce.

7.1.2 Dlouhodobé tendence teploty vzduchu a sněhové pokrývky

Na všech sledovaných klimatologických stanicích (s výjimkou Světlé Hory) dochází alespoň v jedné časové řadě k signifikantnímu rostoucímu trendu teploty (Tab. 7.2 a 7.3). Byly potvrzeny předchozí klimatické analýzy, že v nižších polohách je oteplení výraznější v teplém půlroce, kdežto výše položené oblasti (zastoupené Pradědem) se oteplují více v chladném půlroce. Při testování teplotních řad Pradědu (pouze do roku 1997) však tento trend nebyl statisticky signifikantní. Hodnota signifikance nepatrně převyšovala zvolenou $\alpha = 0,05$ (u prosincových, lednových řad a řady chladného půlroku), a proto nebyl trend uznán jako významný.

Autor by se na chvíli ještě rád slovem zastavil u klimatologické stanice Světlá Hora. Její teplotní časové řady se vyznačovaly vysokou homogenitou, ale naprosto v nich chyběla jakákoliv trendová složka. To je nadmíru zajímavé z pohledu významných teplotních tendencí nadregionálního rozsahu. Navíc byly na všech okolních stanicích určité trendy zaznamenány. Svědčí to tedy o specifickém místním klimatu, které je vůči okolí stabilní a resistantní. Přesto se nezdá, že by tomu nějak poloha stanice napomáhala (Příloha 16).

Tab. 7.1: Dlouhodobé tendence ve srážkách a odtoku v povodí Opavy a Opavice (1962-2006)

(Zdroj: ČHMÚ)

Opava					Opavice				
Řada	n	MK-statistika z	Signifikance	Trend	Řada	n	MK-statistika z	Signifikance	Trend
Q ₁₁	45	-0,841	0,400	-	Q ₁₁	45	-0,626	0,531	-
Q ₁₂	45	-1,761	0,078	-	Q ₁₂	45	-0,920	0,358	-
Q ₁	45	0,910	0,363	-	Q ₁	45	0,548	0,584	-
Q ₂	45	0,391	0,696	-	Q ₂	45	-0,245	0,807	-
Q ₃	45	0,176	0,860	-	Q ₃	45	0,352	0,725	-
Q ₄	45	-1,037	0,300	-	Q ₄	45	-1,311	0,190	-
Q ₅	45	-2,191	0,028	↓	Q ₅	45	-2,348	0,019	↓
Q ₆	45	-3,091	0,002	↓	Q ₆	45	-2,406	0,016	↓
Q ₇	45	-2,113	0,035	↓	Q ₇	45	-1,761	0,078	-
Q ₈	45	-0,939	0,348	-	Q ₈	45	-0,685	0,493	-
Q ₉	45	-0,822	0,411	-	Q ₉	45	-0,548	0,584	-
Q ₁₀	45	-0,861	0,389	-	Q ₁₀	45	-1,262	0,207	-
Q _r	45	-2,309	0,021	↓	Q _r	45	-1,732	0,083	-
Q _{chlád}	45	-0,685	0,493	-	Q _{chlád}	45	-0,460	0,646	-
Q _{tep}	45	-2,328	0,020	↓	Q _{tep}	45	-2,074	0,038	↓
Q _{min}	45	-0,147	0,883	-	Q _{min}	45	-2,146	0,032	↓
H ₁₁	45	-0,861	0,389	-	H ₁₁	45	-0,372	0,710	-
H ₁₂	45	0,293	0,769	-	H ₁₂	45	0,646	0,519	-
H ₁	45	0,196	0,845	-	H ₁	45	-0,841	0,400	-
H ₂	45	0,137	0,891	-	H ₂	45	-0,587	0,557	-
H ₃	45	0,509	0,611	-	H ₃	45	0,352	0,725	-
H ₄	45	0,098	0,922	-	H ₄	45	-0,117	0,907	-
H ₅	45	-1,839	0,066	-	H ₅	45	-1,409	0,159	-
H ₆	45	-0,587	0,557	-	H ₆	45	-0,978	0,328	-
H ₇	45	-1,213	0,225	-	H ₇	45	-0,959	0,338	-
H ₈	45	-0,685	0,493	-	H ₈	45	-0,939	0,348	-
H ₉	45	0,391	0,696	-	H ₉	45	0,587	0,557	-
H ₁₀	45	-0,020	0,984	-	H ₁₀	45	-0,235	0,814	-
H _r	45	-1,330	0,183	-	H _r	45	-1,624	0,104	-
H _{chlád}	45	0,196	0,845	-	H _{chlád}	45	-0,176	0,860	-
H _{tep}	45	-1,526	0,127	-	H _{tep}	45	-1,663	0,096	-

Tab. 7.2: Dlouhodobé tendence v teplotě vzduchu a sněhové pokrývce na stanicích Červená, Krnov a Opava (1962-2006)

Červená					Krnov					Opava				
Řada	n	MK-statistika z	Signifikance	Trend	Řada	n	MK-statistika z	Signifikance	Trend	Řada	n	MK-statistika z	Signifikance	Trend
T ₁₁	45	-0,137	0,891	-	T ₁₁	45	-0,313	0,754	-	T ₁₁	45	-0,411	0,681	-
T ₁₂	45	1,087	0,277	-	T ₁₂	45	0,920	0,358	-	T ₁₂	45	0,773	0,439	-
T ₁	45	1,488	0,137	-	T ₁	45	1,360	0,174	-	T ₁	45	1,390	0,165	-
T ₂	45	0,881	0,379	-	T ₂	45	0,802	0,422	-	T ₂	45	0,979	0,328	-
T ₃	45	0,979	0,328	-	T ₃	45	0,891	0,373	-	T ₃	45	0,656	0,512	-
T ₄	45	1,694	0,090	-	T ₄	45	2,183	0,029	↑	T ₄	45	1,057	0,290	-
T ₅	45	2,565	0,010	↑	T ₅	45	3,320	0,001	↑	T ₅	45	1,615	0,106	-
T ₆	45	1,420	0,156	-	T ₆	45	3,028	0,002	↑	T ₆	45	0,735	0,463	-
T ₇	45	2,104	0,035	↑	T ₇	45	3,406	0,001	↑	T ₇	45	1,899	0,058	-
T ₈	45	2,907	0,004	↑	T ₈	45	3,663	0,000	↑	T ₈	45	1,880	0,060	-
T ₉	45	0,294	0,769	-	T ₉	45	0,950	0,342	-	T ₉	45	0,088	0,930	-
T ₁₀	45	0,450	0,652	-	T ₁₀	45	1,165	0,244	-	T ₁₀	45	1,273	0,203	-
T _r	45	3,200	0,001	↑	T _r	45	3,473	0,001	↑	T _r	45	2,064	0,039	↑
T _{chlad}	45	1,919	0,055	-	T _{chlad}	45	1,859	0,063	-	T _{chlad}	45	1,683	0,092	-
T _{tep}	45	3,131	0,002	↑	T _{tep}	45	4,579	0,000	↑	T _{tep}	45	2,563	0,010	↑
S ₁₁	45	-1,879	0,060	-	S ₁₁	45	-0,812	0,417	-	S ₁₁	45	0,070	0,944	-
S ₁₂	45	-1,937	0,053	-	S ₁₂	45	-0,313	0,754	-	S ₁₂	45	-0,646	0,518	-
S ₁	45	-1,839	0,066	-	S ₁	45	-0,685	0,493	-	S ₁	45	-0,499	0,618	-
S ₂	45	-3,072	0,002	↓	S ₂	45	0,313	0,754	-	S ₂	45	-0,245	0,807	-
S ₃	45	-1,869	0,062	-	S ₃	45	-0,069	0,945	-	S ₃	45	-0,452	0,651	-
S ₄	45	-1,332	0,183	-	S ₄	45	-0,864	0,387	-	S ₄	45	-0,625	0,532	-
S _r	45	-2,856	0,004	↓	S _r	45	0,010	0,992	-	S _r	45	-0,548	0,584	-
PD ₁₁	45	0,196	0,845	-	PD ₁₁	45	-0,120	0,905	-	PD ₁₁	45	0,329	0,742	-
PD ₁₂	45	-0,743	0,458	-	PD ₁₂	45	-0,343	0,731	-	PD ₁₂	45	-0,814	0,416	-
PD ₁	45	-1,026	0,305	-	PD ₁	45	-0,972	0,331	-	PD ₁	45	-0,961	0,337	-
PD ₂	45	-0,665	0,506	-	PD ₂	45	-0,255	0,799	-	PD ₂	45	-0,363	0,717	-
PD ₃	45	-0,729	0,466	-	PD ₃	45	-0,374	0,709	-	PD ₃	45	-0,414	0,679	-
PD ₄	45	-0,945	0,345	-	PD ₄	45	-0,477	0,633	-	PD ₄	45	-0,174	0,862	-
PD _r	45	-1,136	0,256	-	PD _r	45	-0,861	0,389	-	PD _r	45	-0,842	0,400	-
Opava_S _r	45	-2,680	0,007	↓	Opava_T _r	45	2,367	0,018	↑	(Zdroj: ČHMÚ)				
Opavice_S _r	45	-1,761	0,078	-	Opavice_T _r	45	3,013	0,003	↑					

Tab. 7.3: Dlouhodobé tendence v teplotě vzduchu a sněhové pokrývce na stanicích Světlá Hora, Město Albrechtice-Žáry a Praděd

Světlá Hora					MA-Žáry					Praděd				
Řada	n	MK-statistika z	Signifikance	Trend	Řada	n	MK-statistika z	Signifikance	Trend	Řada	n	MK-statistika z	Signifikance	Trend
T ₁₁	45	-1,018	0,309	-	T ₁₁	45	-0,440	0,660	-	T ₁₁	36	-0,709	0,478	-
T ₁₂	45	0,372	0,710	-	T ₁₂	45	0,931	0,352	-	T ₁₂	36	1,840	0,066	-
T ₁	45	0,656	0,512	-	T ₁	45	1,321	0,186	-	T ₁	36	1,840	0,066	-
T ₂	45	0,098	0,922	-	T ₂	45	0,851	0,395	-	T ₂	36	1,131	0,258	-
T ₃	45	0,264	0,792	-	T ₃	45	0,793	0,428	-	T ₃	36	0,941	0,347	-
T ₄	45	0,264	0,792	-	T ₄	45	1,753	0,080	-	T ₄	36	-0,832	0,405	-
T ₅	45	1,303	0,193	-	T ₅	45	2,457	0,014	↑	T ₅	36	1,145	0,252	-
T ₆	45	-0,010	0,992	-	T ₆	45	1,108	0,268	-	T ₆	36	-0,478	0,633	-
T ₇	45	1,283	0,200	-	T ₇	45	1,909	0,056	-	T ₇	36	0,818	0,413	-
T ₈	45	1,117	0,264	-	T ₈	45	2,694	0,007	↑	T ₈	36	2,141	0,032	↑
T ₉	45	-0,960	0,337	-	T ₉	45	0,313	0,754	-	T ₉	36	-0,587	0,557	-
T ₁₀	45	0,117	0,906	-	T ₁₀	45	0,656	0,512	-	T ₁₀	36	-0,940	0,347	-
T _r	45	0,636	0,525	-	T _r	45	3,013	0,003	↑	T _r	36	1,622	0,105	-
T _{chlad}	45	0,254	0,799	-	T _{chlad}	45	2,045	0,041	↑	T _{chlad}	36	1,676	0,094	-
T _{tep}	45	1,048	0,295	-	T _{tep}	45	2,946	0,003	↑	T _{tep}	36	0,586	0,558	-
S ₁₁	45	-0,186	0,852	-	S ₁₁	45	-1,092	0,275	-	S ₁₁	36	-0,218	0,827	-
S ₁₂	45	-0,372	0,710	-	S ₁₂	45	-0,929	0,353	-	S ₁₂	36	-0,763	0,446	-
S ₁	45	0,235	0,814	-	S ₁	45	-1,047	0,295	-	S ₁	36	-0,872	0,383	-
S ₂	45	0,313	0,754	-	S ₂	45	-0,597	0,551	-	S ₂	36	-2,125	0,034	↓
S ₃	45	0,528	0,597	-	S ₃	45	-0,078	0,938	-	S ₃	36	-1,607	0,108	-
S ₄	45	-0,524	0,600	-	S ₄	45	-0,109	0,914	-	S ₄	36	-0,272	0,785	-
S _r	45	0,293	0,769	-	S _r	45	-0,548	0,584	-	S _r	36	-1,362	0,173	-
PD ₁₁	45	-0,069	0,945	-	PD ₁₁	45	0,375	0,708	-	PD ₁₁	36	1,283	0,199	-
PD ₁₂	45	-0,335	0,738	-	PD ₁₂	45	0,441	0,659	-	PD ₁₂	36	0,198	0,843	-
PD ₁	45	-1,304	0,192	-	PD ₁	45	-0,592	0,554	-	PD ₁	36	0,572	0,568	-
PD ₂	45	-0,250	0,803	-	PD ₂	45	-0,394	0,694	-	PD ₂	36	-0,123	0,902	-
PD ₃	45	-0,490	0,624	-	PD ₃	45	-0,490	0,624	-	PD ₃	36	-0,879	0,380	-
PD ₄	45	-0,357	0,721	-	PD ₄	45	-0,378	0,706	-	PD ₄	36	2,259	0,024	↑
PD _r	45	-0,940	0,347	-	PD _r	45	-0,705	0,481	-	PD _r	36	1,051	0,293	-

(Zdroj: ČHMÚ)

S celkovým oteplováním klimatu úzce souvisí i dlouhodobé trendy sněhové pokrývky. Obecně dochází k úbytku výšky sněhové pokrývky. Výrazněji se tento fenomén projevuje v povodí Opavy, kde byl zaznamenán signifikantní trend. Povodí Opavice však příliš k zamítnutí nulové hypotézy o neexistenci trendu nechybělo (Tab. 7.2). Naopak téměř ani na jedné stanici nebyla rozpoznána významná tendence v počtu dní se sněhovou pokrývkou. Pouze na Pradědu se v dubnu do roku 1997 počet dní se sněhem dokonce zvyšoval. Dá se říci, že se vývoj v časových řadách teploty vzduchu a sněhové pokrývky nikterak neliší od trendů zaznamenaných v povodí horní Blanice na Šumavě (Kliment, Matoušková 2007, 2009) a na Rolavě v Krušných horách. (Ledvinka 2008)

7.2 Významné závislosti mezi časovými řadami

Kromě zjišťování homogenity a trendů v časových řadách nás zajímalo, jestli vůbec existují, a případně jak silné jsou, vzájemné příčinné závislosti mezi časovými řadami hydroklimatických prvků. Těsnost vztahů byla počítána Kendallovým koeficientem pořadové korelace τ_b a nejvýznamnější závislosti byly následně zobrazeny graficky pomocí lineární regrese. Aby byla splněna podmínka funkčnosti lineární regrese, byly proměnné nejprve standardizovány na normální rozdělení $N(0,1)$. Poté byly jejich z-skóry vyneseny do grafů. Tak mohly být bez problémů srovnávány veličiny různých jednotkových rozměrů.

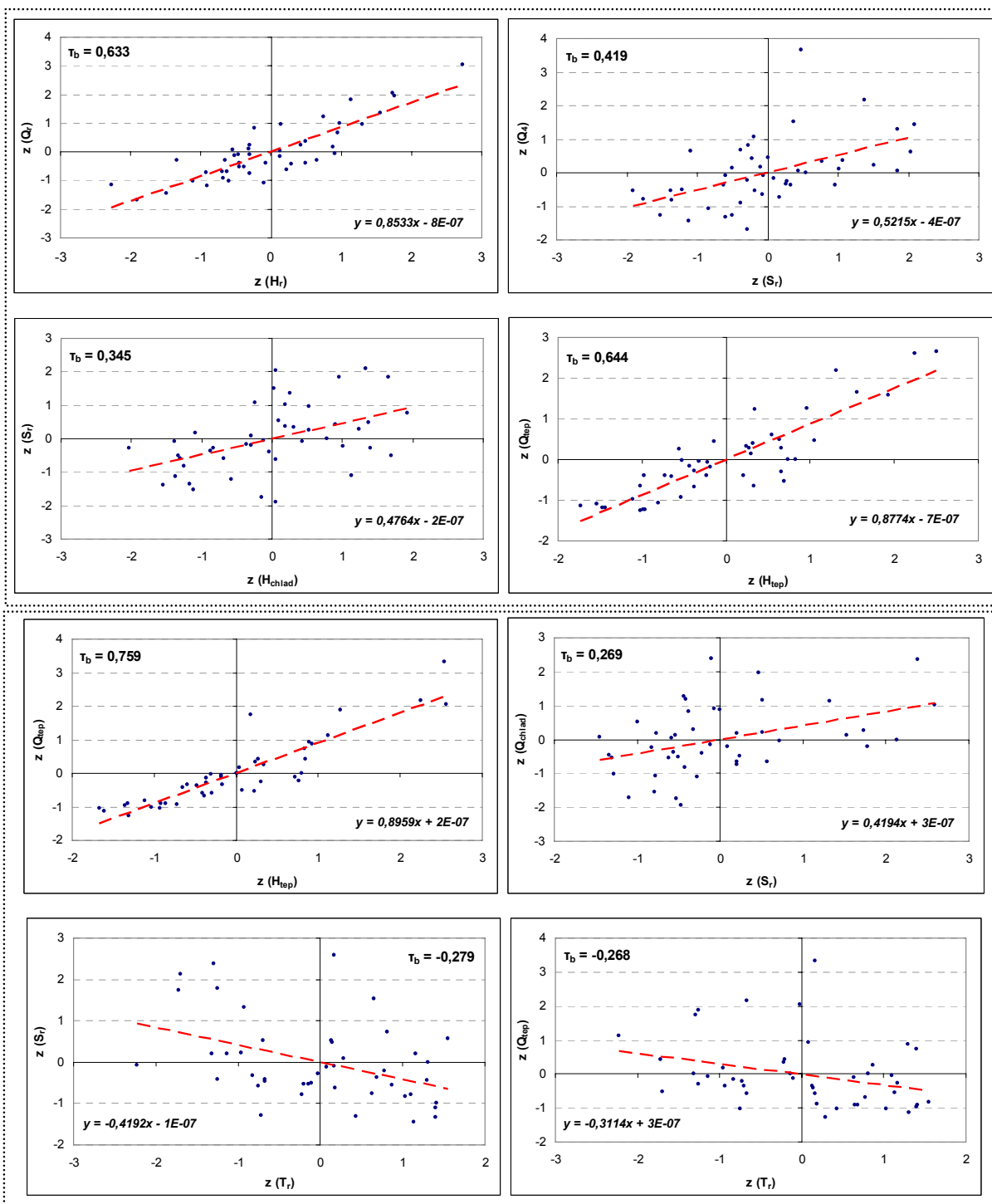
Další výhodou standardizovaných hodnot je také jednodušší výpočet regresní přímky. Regresní přímka prochází počátkem a směrnici přímky označuje Pearsonův (lineární) korelační koeficient. (Hendl 2004) Je možné tedy na první pohled srovnat chování obou koeficientů a rozpoznat jejich odlišnosti. Zřejmé je to především na Obr. 7.4, kdy má vztah mezi březnovými teplotami a počtem dní se sněhovou pokrývkou na stanici Červená nelineární (logaritmický) průběh a Kendallův koeficient jej označil za statisticky velmi významný ($\tau_b = -0,681$). Pearsonův koeficient jej však za příliš zajímavý nepovažoval ($r = -0,314$).

Podle Obr. 7.2 si můžeme všimnout velmi těsného pozitivního vztahu mezi srážkami a odtokem na obou povodích, zvláště v teplém půlroce (Opava: $\tau_b = 0,644$; Opavice: $\tau_b = 0,759$). Obecně platí větší závislost v teplém půlroce, kdy je srážka transformována na odtokovou složku rychleji než v chladném půlroce (červenec na Opavě: $\tau_b = 0,507$, resp. Opavici $\tau_b = 0,483$). Zde působí jako retardér sněhová

pokrývka, která srážky akumuluje a ty se tak účastní odtoku až se zpožděním. To potvrdil také Kendallův koeficient, který všem měsícům chladného půlroku na obou tocích přisoudil signifikantnější závislost na srážkách spadlých o měsíc dříve (např. $\tau_b (H_{12}-Q_1) = 0,335$, kdežto $\tau_b (H_1-Q_1) = 0,157$). To by ukazovalo na výrazný vliv sněhové pokrývky na chod průtoků v chladném půlroce.

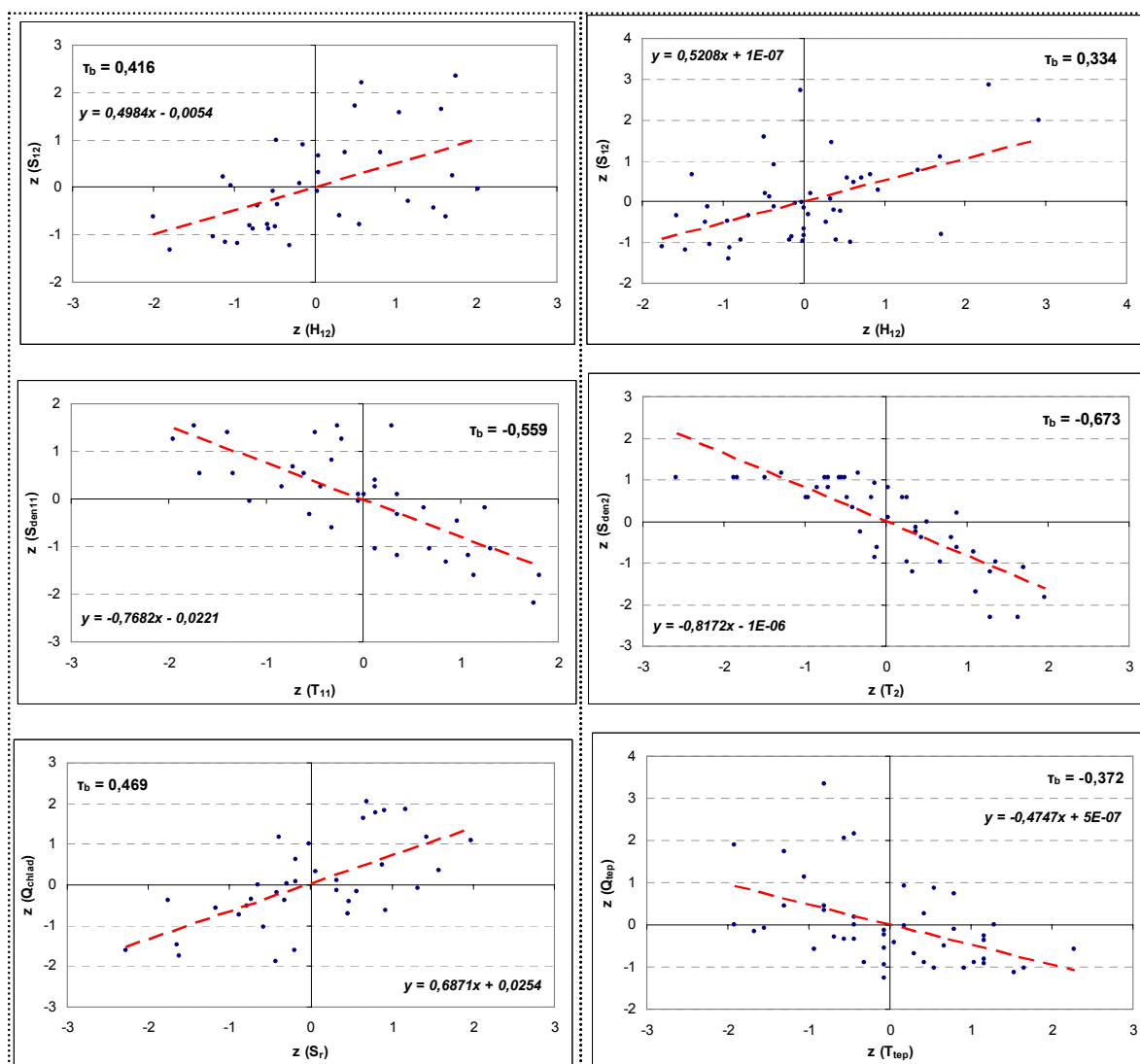
Při sledování vlivu sněhové pokrývky na odtok se předchozí tvrzení verifikovalo pouze ve vyšších nadmořských výškách. Sněhová pokrývka naměřená na stanici Praděd bezpochyby pozitivně působí na odtok v Opavě v chladném půlroce ($\tau_b = 0,469$). (Obr. 7.3) Znovu se také signifikantně prokázalo, že sníh vyskytující se na povodí Opavy přímo ovlivňuje s měsíčním zpožděním její průtok. Na povodí Opavice již tak těsné vztahy mezi sněhovou pokrývkou a odtokem objeveny nebyly. Je to patrně jednak menším množstvím sněhu akumulovaném v povodí a jednak také výběrem reprezentativní stanice. Klimatologická stanice Město Albrechtice-Žáry s nadmořskou výškou 483 m n.m. těžko může zastupovat sněhové poměry v nejvyšších partiích povodí, kde se dají největší mocnosti předpokládat. V počtu dní se sněhovou pokrývkou žádné významnější závislosti týkající se odtoku detekovány nebyly a nemá cenu se jimi v textu dále zabývat.

Vliv teploty na odtok není tak výrazný, jako tomu bylo třeba u srážek nebo sněhové pokrývky v zimním půlroce, přesto je možné vysledovat určité vazby. Působení teploty je možné vysvětlovat z několika pohledů. Při vyšších teplotách (především v teplém půlroce) může docházet k intenzivnějšímu výparu a snížení vodnosti. V chladném půlroce se mohou naopak vinou tání sněhových zásob průtoky zvětšovat. Opačný účinek by zase nastal při záporných teplotách a akumulaci srážek ve sněhové pokrývce. Kendallův koeficient se v obou povodích významně přiklonil k přímému negativnímu vlivu teploty na odtok v teplém půlroce – $\tau_b (T_r-Q_{\text{tep}}) = -0,271$ na Opavě, resp. $\tau_b (T_r-Q_{\text{tep}}) = -0,268$ na Opavici. Koeficienty v chladném půlroce dosahovaly kladných hodnot pouze od prosince do března a většinou dosahovaly nízkých signifikancí. Po zbytek roku převládala nepřímá závislost mezi teplotou vzduchu a odtokem. (Obr. 7.2) Přece jen silnější vztahy existují v nižších polohách, kde se ve srovnání s horskými polohami vyskytují vyšší teploty a větší výpar – Město Albrechtice : $\tau_b (T_{\text{tep}}-Q_{\text{tep}}) = -0,372$; Praděd: $\tau_b (T_{\text{tep}}-Q_{\text{tep}}) = -0,236$.

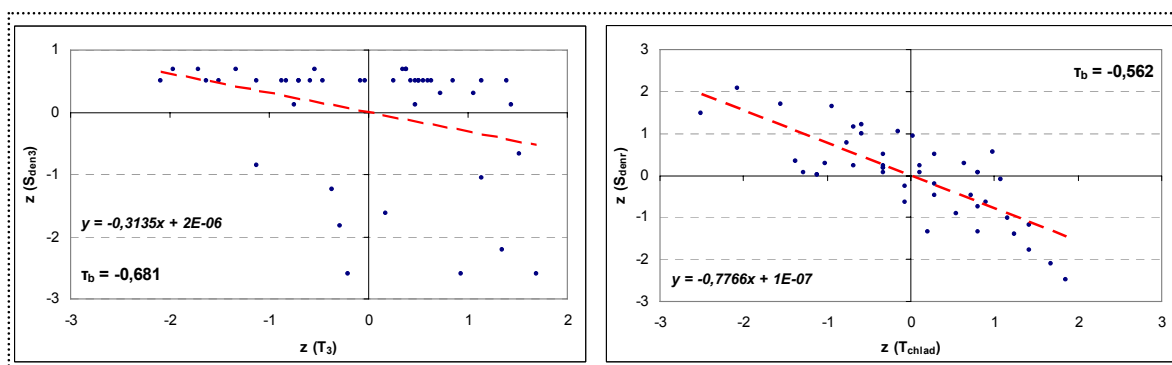


Obr. 7.2: Nejvýznamnější závislostní vztahy v povodí Opavy (horní polovina) a Opavice (spodní polovina) mezi hydroklimatickými prvky
(Zdroj: ČHMÚ)

U vybraných klimatologických stanic byly sledovány i vazby mezi jednotlivými klimatickými prvky (Obr. 7.3 a 7.4). Závislost srážek na teplotě vzduchu byla podle předpokladů nevýznamná. Naopak se znovu potvrdilo působení různých faktorů na sněhovou pokrývku v závislosti na nadmořské výšce.



Obr. 7.3: Nejvýznamnější závislostní vztahy mezi hydroklimatickými prvky na stanicích Praděd (vlevo) a Město Albrechtice-Žáry (vpravo)
(Zdroj: ČHMÚ)



Obr. 7.4: Nejvýznamnější závislostní vztahy mezi klimatickými prvky na stanici Červená
(Zdroj: ČHMÚ)

Na stanici Praděd je výška sněhové pokrývky podmiňována především srážkovými úhrny než dosaženou teplotou vzduchu. Existují zde pozitivní vazby, které potvrdily hodnoty korelačních koeficientů: $\tau_b (H_{\text{chlad}} - S_r) = 0,332$. Nejvýznamnější vztah byl nalezen pro prosinec ($\tau_b = 0,416$). Přesto však nemůžeme vliv teploty ve vyšších polohách úplně odmítnout. V měsících ohraničujících chladný hydrologický půlrok (konkrétně v listopadu, březnu a částečně v dubnu) byly zaznamenány těsné negativní závislosti mezi teplotou a výškou sněhové pokrývky, resp. počtem dní se sněhovou pokrývkou. Ukázalo se, že je délka trvání sněhové pokrývky více závislá na teplotě než výška sněhové pokrývky. To znamená, že s klesající (rostoucí) teplotou se prodlužuje (zkracuje) délka trvání více než se zvyšuje (snižuje) výška sněhové pokrývky – např.: $\tau_b (T_{11} - S_{\text{dny}_{11}}) = -0,559$, zatímco $\tau_b (T_{11} - S_{11}) = -0,353$.

Tento jev byl ještě silněji potvrzen v nižších polohách zastoupených stanicemi Červená a Město Albrechtice. Obecně se zde na utváření sněhové pokrývky podílí více teplota než srážky (Obr. 7.3). Její převahu dokumentují korelační koeficienty S_r a T_{chlad} v Městě Albrechtice v porovnání s koeficienty H_r a T_{chlad} ($\tau_b = -0,325$ oproti $\tau_b = 0,151$). Tento rozdíl by byl ještě dominantnější, kdybychom místo výšky sněhové pokrývky uvažovali počet dní se sněhovou pokrývkou. Zde se nám mezi délkou trvání sněhové pokrývky a teplotou ukazují negativní závislosti, které svojí silou konkurují vztahům mezi srážkou a odtokem (únor -0,673, březen -0,660, chladný půlrok -0,664).

7.3 Shrnutí analýz trendu a korelačních závislostí

V povodí Opavy a Opavice dochází k postupnému snižování průtoků, které se projevuje hlavně v teplém půlroce. Tato tendence se vyskytla především v letních měsících a v průtocích teplého půlroku. Mohly by se za tím skrývat změny detekované ve srážkách. Při bližším rozboru srážkových úhrnů na všech disponibilních stanicích byl zpozorován pokles srážek na východ od Hrubého Jeseníku. Tento jev byl patrný zejména v teplém půlroce. Západní stanice (Ramzová a Bělá pod Pradědem) naopak vykazovaly signifikantní rostoucí tendenci ve srážkách a to v chladném půlroce. Mohla by se za tím skrývat zvyšující se četnost západních cyklonálních situací v zimě, které přináší kapalné srážky. Tuto teorii by však bylo třeba podrobněji analyzovat (např. potvrzením trendu i na dalších stanicích).

Ve zkoumané oblasti byl kromě toho potvrzen signifikantní rostoucí trend teploty vzduchu, jenž odpovídá současným nadregionálním tendencím. Nižší polohy se výrazněji oteplují v teplém půlroce, vyšší naopak v chladném. S teplejším klimatem souvisí také zaznamenaný úbytek sněhové pokrývky. Sněhu rychleji ubývá ve vyšších polohách (na Pradědu a v Červené), což lze vysvětlit právě vyšším přísunem solární energie v chladném půlroce.

Vzájemné závislosti hydroklimatických prvků vyčíslené Kendallovým τ_b přináší spíše očekávané výsledky. Na obou povodích byly zjištěny významné korelace mezi srážkami a odtokem, především v teplém půlroce. V chladném půlroce hraje nezpochybnitelnou roli výskyt sněhové pokrývky, která spadlé srážky akumuluje a způsobuje jejich zpožděnou odtokovou odezvu. Tato skutečnost byla vypořádována i ve vazbách mezi měsíčními srážkami a průtoky. V chladném půlroce totiž mezi sebou silněji korelují průtoky s o měsíc zpožděnými srážkami. Nejednalo se o žádnou výjimku v korelační matici, protože byl tento jev objeven téměř u všech zimních měsíců v obou povodích. Stvrzením předešlého byly také následné analýzy odtokových a sněhových řad. I zde byly v povodí Opavy (konkrétně na Pradědu), které v zimě disponuje mocnější sněhovou pokrývkou, vypátrány větší korelační koeficienty mezi průtokovými řadami a o měsíc dřívějšími řadami výšky sněhové pokrývky než u odpovídajících si časových řad.

Vliv teploty na odtokové poměry byl ve srovnání se srážkami a sněhem menší, ale nezanedbatelný. Dominuje pokles vodnosti způsobený větší evaporací při vyšších teplotách v teplém půlroce. Při předpokládaném intenzivnějším oteplování nižších (méně humidních) oblastí by se tak stále aktuálnějším tématem mohla stát hrozba častějšího výskytu hydrologického sucha.

Vzájemné korelace mezi klimatickými prvky změřenými na vybraných stanicích potvrdily, že ve vyšších polohách existuje těsnější závislost sněhové pokrývky na srážkách, zatímco v nižších oblastech je sníh mnohem výrazněji ovlivněn teplotou. Zajímavé zjištění však vzešlo z korelací teploty vzduchu s počtem dní se sněhovou pokrývkou. Mezi délkou trvání sněhové pokrývky a teplotou se vyskytuje velmi silný negativní vztah (silnější než mezi teplotou a výškou sněhové pokrývky), který se svou těsností vyrovnává i vztahům mezi srážkou a odtokem. Může to svědčit o častějším výskytu chladných bezsrážkových období, kdy sněhová pokrývka setrvává, ale nepřibývá. V opačném případě to může prozrazovat rychlou reakci tání sněhové pokrývky při nadnulových teplotách.

8. HODNOCENÍ ANTROPOGENNÍHO OVLIVNĚNÍ POVODÍ OPAVY

Antropogenním vlivům na srážkoodtokový proces a obecně na celý hydrologický cyklus již byla věnována pěkná řádka děl českých i zahraničních autorů. Můžeme vzpomenout jen některé, např. Langhammer (2007), Buchtele et al. (2003), Kříž (2000), Kaňok (1997) a další. Autor proto nepovažuje za nutné se o jejich významu nějak obšírně rozepisovat a odkazuje na odpovídající literaturu (viz Královec 2006).

Langhammer (2007) ve svém sborníku uvádí nejdůležitější projevy činnosti člověka, které hrají roli ve srážkoodtokovém procesu. Jedná se především o:

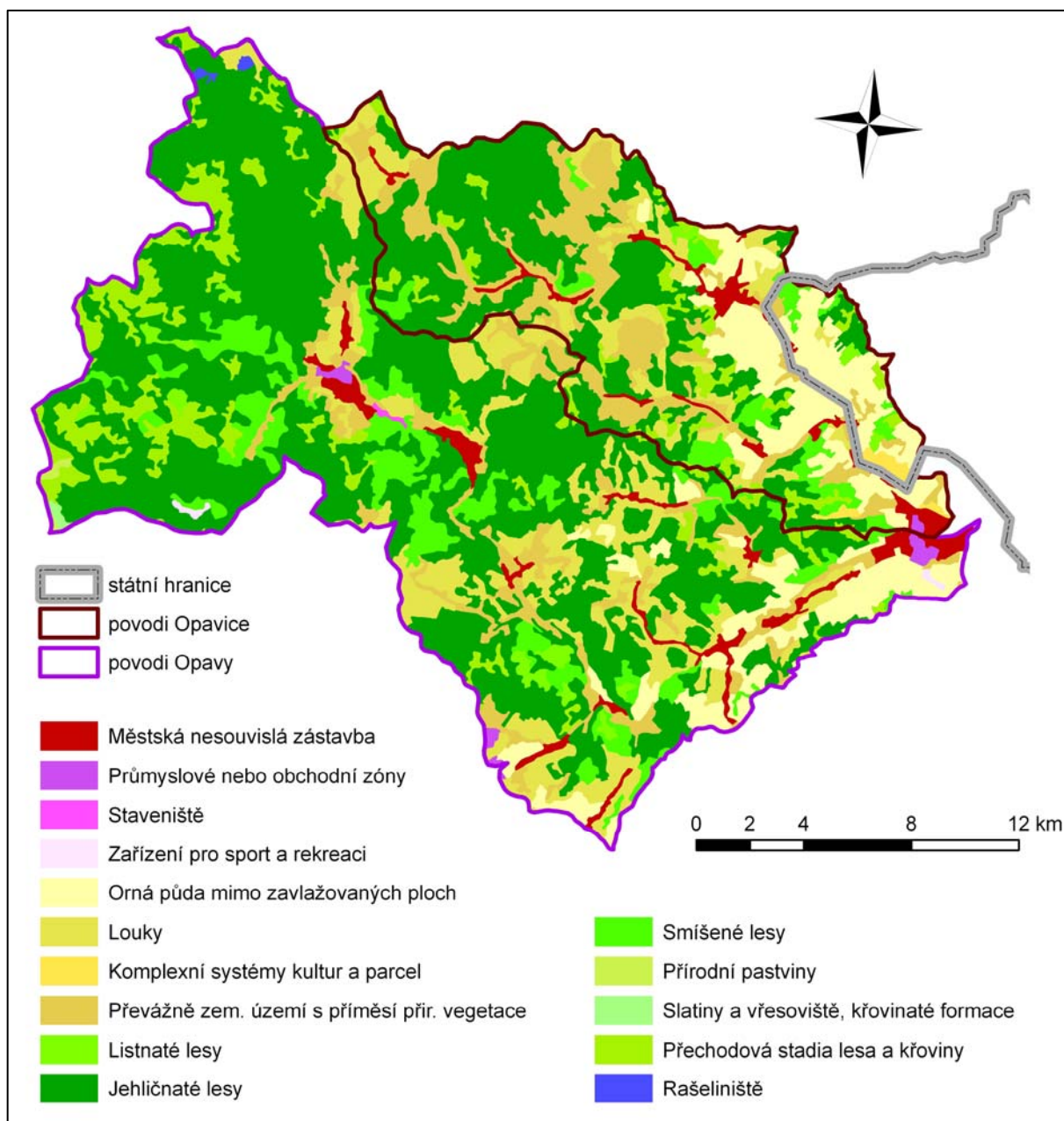
- změny ve využití území, struktuře a kvalitě krajinného krytu
- plošné odvodnění krajiny
- zkrácení říční sítě
- úpravy koryt toků
- charakter využití údolní sítě

V této studii byla věnována hlavní pozornost hodnocení změn krajinného pokryvu, vývoji plošného odvodnění v krajině a antropogenní upravenosti koryt vodních toků. V případě změn v krajinném pokryvu se vycházelo z údajů databáze Corine Land Cover za dva průřezové roky 1990 a 2000. Data pro analýzy plošného odvodnění a úprav koryt toků pocházela z digitalizovaných zákresů v Základních mapách v měřítku 1:10 000 spravovaných Zemědělskou vodohospodářskou správou. Dostupnost informací byla bohužel limitována rokem 1994.

8.1 Změny ve využití krajiny

Z hlediska využití krajiny jsou si povodí Opavy a Opavice svým způsobem podobná. Musíme si však v první řadě uvědomit rozdíly v nadmořské výšce, které diverzitu land use podmiňují. Obecně by se dalo celé území rozdělit do tří pásů. Prvním z nich je zemědělsky obhospodařovaná oblast na dolních tocích obou řek. S přibývajícím nadmořskou výškou jsou pole nahrazována loukami, případně směsí zemědělských ploch s přirozenou vegetací. Tento typ krajiny je typický pro střední toky. Částečně se však v kombinaci s jehličnatými lesy objevuje i na horním toku Opavice. Pod Vrbnem pod Pradědem získává krajina povodí Opavy lesnatý

charakter, kde se střídají smíšené a jehličnaté porosty. Ty následně přechází v křovinatá stadia vrcholových partií Hrubého Jeseníku a v oblasti Rejvízu se vyskytují i rašeliniště (Obr. 8.1).



Obr. 8.1: Využití krajiny v povodí Opavy a Opavice v roce 2000

(Zdroj: Corine Land Cover)

Abychom si mohli udělat jednoduchou a názornou představu o antropogenních změnách v krajině, byly pro obě povodí v obou časových horizontech vypočteny základní míry ekologické stability, resp. antropogenního ovlivnění. Všechny koeficienty se ve svých interpretacích shodují a přinášejí

očekávané poznatky. Povodí Opavy je charakterizováno jako přírodní a přírodě blízká krajina s výraznou převahou ekologicky stabilních struktur a nízkou intenzitou využívání krajiny člověkem. Pro povodí Opavice pak platí, že se jedná o vcelku vyváženou krajinu, v níž jsou technické objekty relativně v souladu s dochovanými přírodními strukturami. Změny v krajině se v současnosti z pohledu její stability vyvíjí pozitivním směrem (Tab. 8.1).

Tab. 8.1: Koeficienty ekologické stability a antropogenního ovlivnění

Povodí	Opava_90	Opavice_90	Opava_00	Opavice_00
Ukazatel				
KES (Míchal)	4,41	2,07	8,16	2,66
KES (Miklós) ⁴	0,77	0,62	0,80	0,64
KAO	0,23	0,48	0,12	0,38

(Zdroj: Corine Land Cover)

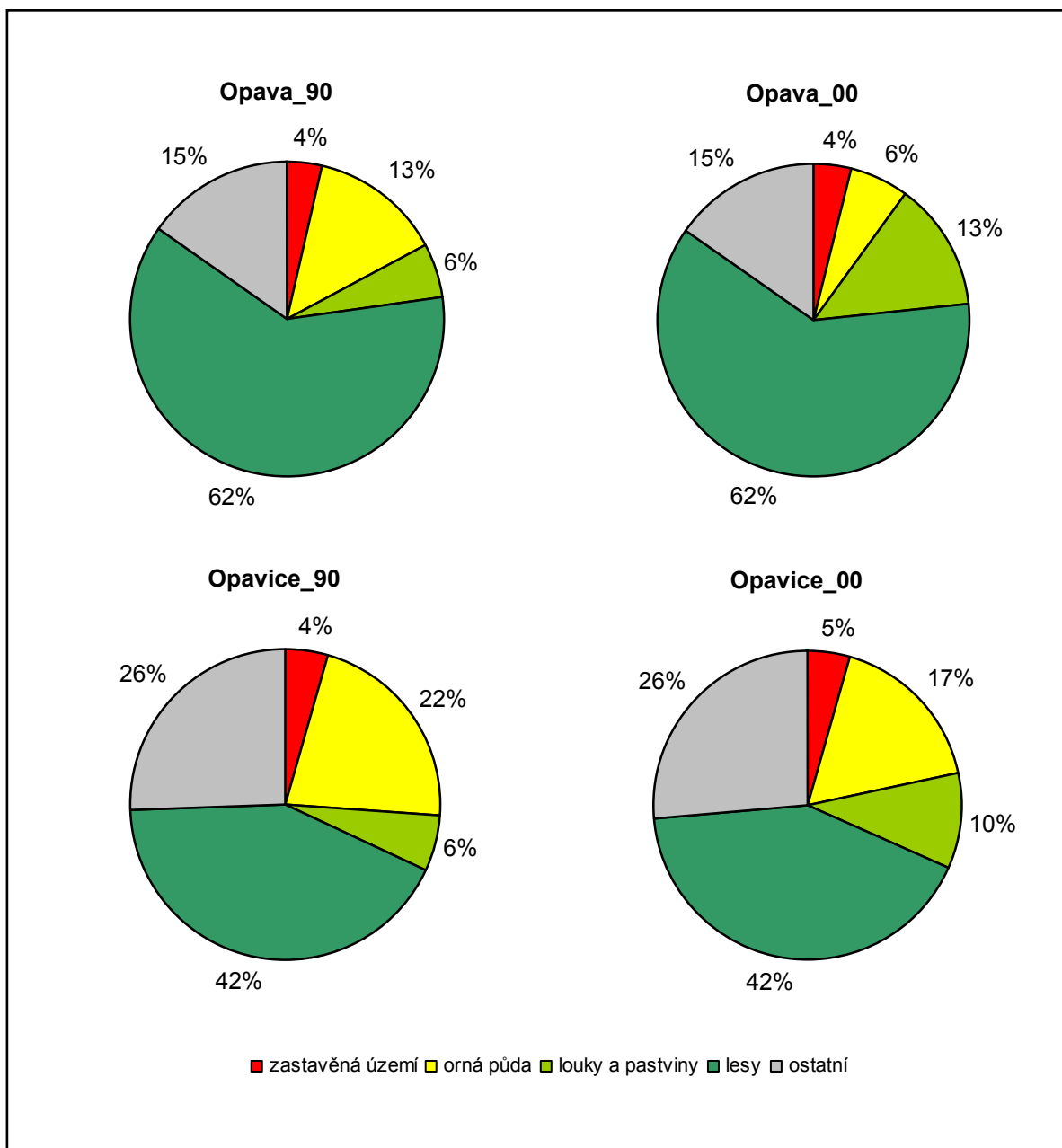
Detailnější pohled na změny landuse, které se v obou povodích udály mezi lety 1990 – 2000, nám přináší Obr. 8.2. Krajinné typy byly pro přehlednost kategorizovány pouze do pěti tříd, přesto je jasné, jakých typů se transformace nejvíce týkala. V obou povodích významně klesl podíl orné půdy na úkor luk a pastvin, o něco výrazněji přitom v povodí Opavy. Dělo se tak hlavně ve středních částech povodí, které byly ještě začátkem 90.let zemědělsky obhospodařovány.

Trochu jiný pohled se stejnými výsledky nám nabízí Příloha 14. Zde byl vypočítán index změny jednotlivých tříd Corine Land Cover a následně byly barevně vyznačeny kategorie, které se plošně zvětšily, zmenšily nebo zůstaly zachovány. Plocha orné půdy v povodí Opavy poklesla více než dvojnásobně (ze 13,5 % na 6,3 % plochy povodí, tj. na 47 % své původní rozlohy). Naopak téměř 2,5násobně přibýlo luk (z 5,6 % na 12,9 % plochy povodí, tj. na 231 % původní rozlohy). V povodí Opavice nejsou tyto hodnoty tak výrazné, ale přesto stojí za povšimnutí. Ostatní třídy se měnily pouze minimálně.

Zjištěné výsledky však nejsou ničím výjimečným, ale jsou pouze logickým pokračováním zásadních změn, ke kterým docházelo v nedávné minulosti ve spojitosti se socialistickým režimem. Dříve se změny nejvýrazněji projevily v povodí Opavice, kde v některých katastrech obcí došlo až k pětinové obměně krajiny. Výrazně poklesla plošná rozloha orné půdy, hlavně v méně úrodných

⁴ KES (podle Miklóse) nabývá hodnot 0,1 – 1, přičemž 0,1 značí nejlabilnější a 1 nejstabilnější plochy

hornatinných partiích Hrubého Jeseníku a jeho podhůří (až o 80%), která byla nahrazena loukami a pastvinami. Část ploch po orné půdě byla také zalesněna, což se ve větší míře dělo v povodí Opavice. (Královec, 2006)



Obr. 8.2: Změny v plošném rozložení krajinného pokryvu (1990-2000)

(Zdroj: Corine Land Cover)

8.2 Upravenost říční sítě a plošné odvodnění

Míra upravenosti říční sítě je důležitá především pro charakter a rychlost proudění. Může se jednat o zásahy přímo v korytě toku nebo v jeho podélném profilu.

Nejčastějším projevem je zahloubení koryta, budované za účelem zvýšení kapacity koryta, které je tak schopno bezpečně převést daným územím větší průtok. Zpevnění břehů a dna snižuje přirozenou hydraulickou drsnost koryta, čímž se urychluje proudění vody v toku a snižuje transformační účinek koryta. Upravenost toků v podélném profilu představuje přítomnost stupňů, jezů či hrází v korytě toku. Tyto struktury zásadním způsobem zpomalují odtok z upravených či napřímených toků. (Langhammer 2007) Úpravy koryt vodních toků se provádějí převážně v zastavěných či zemědělsky využívaných oblastech, kde je snahou odvést vodu co nejrychleji pryč.

Systematické plošné odvodnění zemědělských půd patří mezi meliorační opatření, která byla v posledních letech poměrně často kritizována. Poukazuje se hlavně na negativní vliv odvodnění, jehož důsledkem je zrychlený odtok vody ze zájmového území, možnou kulminaci odtoků, která poté zhoršuje povodňové situace, nadměrné vysoušení půd apod. (Kuráž, Soukup 2004) Přesto je třeba se na účinky odvodňovacích zařízení dívat objektivně. Langhammer (2007) uvádí dvě formy odvodnění, které působí odlišným způsobem. Otevřené drenážní systémy působí v krajině jednoznačně negativně, neboť koncentrují povrchový odtok a urychlují odvod vody z krajiny, aniž by využily její retenční potenciál. Opačně působí uzavřené drenážní systémy, které zvyšují infiltraci vody do půdy, snižují povrchový odtok a zároveň také zvyšují retenční kapacitu půd.

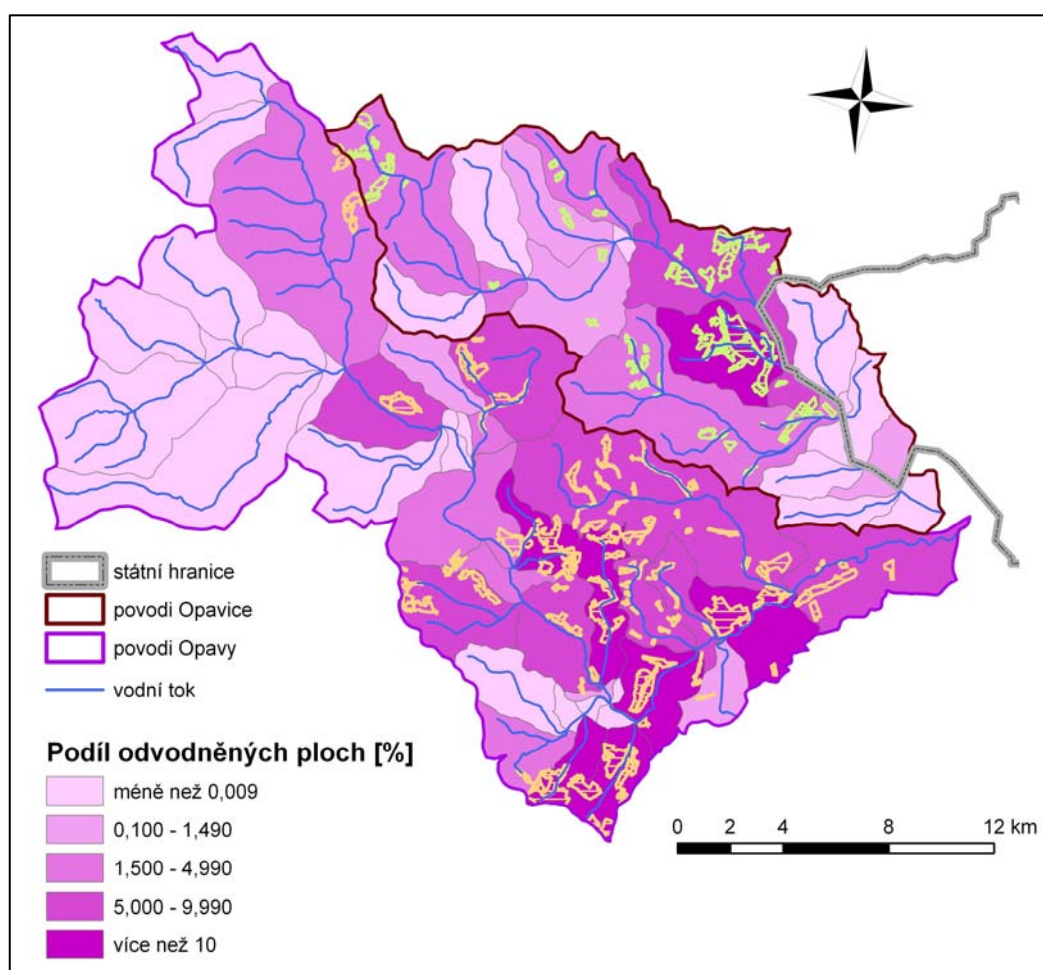
Na základě rozboru dat plošného odvodnění se došlo k závěru, že mezi oběma povodími není téměř žádný rozdíl. U obou procento rozlohy odvodněných ploch nepatrně přesahuje 4 % (Tab. 8.2). V povodí Opavy se nejvíce odvodněných ploch koncentruje v dolní, zemědělsky využívané části povodí, zatímco v povodí Opavice jsou meliorační opatření realizována na středním toku v okolí Města Albrechtic (Obr. 8.3). Na Opavě byly plošně největší zásahy prováděny v povodí Milotického a Jeleního potoka, na Opavici byl jednoznačně nejvíce postižen Burkvízský potok.

S prováděním hydromelioračních úprav se v povodí Opavice započalo již v roce 1956. V povodí Opavy tomu bylo o čtyři roky později. V dalším vývoji však byla významnější etapa výstavby zaznamenána až během 70.let a to pouze v povodí Opavy. Nejintenzivnější budování odvodňovacích zařízení pak spadalo do kompletní osmé dekády 20.století a bylo shodně prováděno na obou povodích (Obr. 8.4). Poslední zdokumentovaná úprava proběhla v roce 1990. Po tomto roce již další informace z předem uvedených důvodů nejsou k dispozici.

Tab. 8.2: Stupeň upravenosti říční sítě a rozsah plošného odvodnění v povodí Opavy a Opavice (1950-1994)

Povodí	Opava	Opavice
Antropogenní vliv		
délka říční sítě [km]	403,96	171,57
délka upravených úseků [km]	48,77	28,58
stupeň upravenosti [%]	12,07	16,66
plocha povodí [km ²]	370,17	175,61
odvodněná plocha [km ²]	16,47	7,42
procento odvodnění [%]	4,45	4,23

(Zdroj: ZVHS)

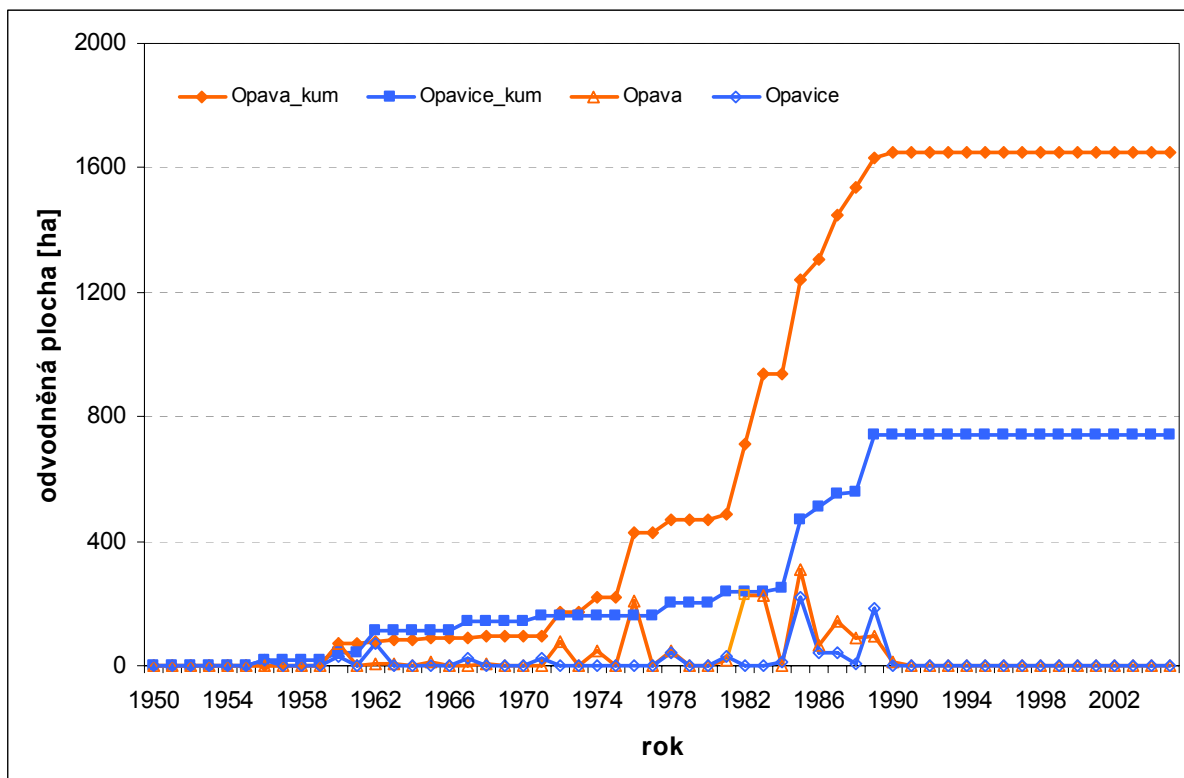


Obr. 8.3: Podíl odvodněných ploch v povodí Opavy a Opavice (1950-1994)

(Zdroj: ZVHS)

K významnějším zásahům do hydrografické sítě docházelo hlavně v souvislosti se stavbou protipovodňových opatření a urbanizací krajiny. Jednalo se

především o zkapacitnění koryt, zpevnění břehů, výstavbu protipovodňových valů či umělých nízkých stupňů či jezů.



Obr. 8.4: Časový vývoj plošného odvodnění v povodí Opavy a Opavice (1950-1994)
(Zdroj: ZVHS)

Ve větším množství nalezneme tyto úpravy v povodí Opavice, hlavně na jejím středním, ale i horním toku. Opavice totiž již od počátku často protéká zastavěným územím a je proto výrazně regulována. Podle autora je hodnota stupně upravenosti necelých 17 % (vycházející z podkladů ZVHS) podhodnocena a neztotožňuje se s reálným procentem úprav potvrzených terénním mapováním. Přesto je i na základě získaných dat o upravenosti vodních toků možné potvrdit větší antropogenní zatížení Opavice v porovnání s Opavou.

8.3 Shrnutí antropogenního ovlivnění

V povodí Opavy a Opavice docházelo ve zkoumaném období ke změnám ve využití území. Orná půda byla nahrazována ekologicky stabilnějšími typy krajinného pokryvu (hlavně loukami a dříve i lesy). Tato tendence by měla mít pozitivní dopad na zvýšení retenční kapacity území a retardaci rychlého povrchového odtoku.

V dlouhodobějším měřítku by se tato změna mohla projevit ve vyrovnanějším chodu ročních průtoků.

Ve druhé polovině minulého století docházelo v povodí Opavy a Opavice k postupnému budování odvodňovacích zařízení s cílem zpřístupnit nové plochy zemědělskému obhospodařování. Výstavba probíhala přerušeně ve dvou hlavních etapách. V průběhu 70.let se tak dělo pouze na Opavě. Intenzivněji se hydromeliorace začaly stavět v obou povodích až od začátku 80.let. Největší koncentrace plošných odvodnění lze nalézt v povodí Milotického, Jeleního a Burkvízského potoka.

Podle dřívějších analýz odtoku se signifikantní změny v průtocích objevily v první polovině 80.let 20.století, čemuž by odpovídala vrcholná fáze výstavby hydromeliorací. Bylo by ale alibistické tvrdit, že se na těchto změnách podílelo rozhodující měrou právě plošné odvodnění. Už jen z toho důvodu, že odvodněné plochy zabírají pouze zlomek z celého povodí. Přesto jejich vliv nemůže být zcela vyloučen.

9. DISKUSE A ZÁVĚRY

Předložená práce si dala za cíl sledovat a pokusit se objasnit příčiny změn ve vývoji srážkoodtokových vztahů v povodí Opavy po limnigrafickou stanicí Krnov a v povodí Opavice. Přihlíželo se především k působení klimatických změn a dodatečně byly provedeny také analýzy možného antropogenního ovlivnění. Sledovala se změna krajinného pokryvu v dekádě mezi lety 1990 – 2000 a kromě toho i postupný vývoj odvodněných ploch během druhé poloviny 20.století.

Pracovalo se s časovými řadami průtoků, výšek srážek, teploty vzduchu a sněhové pokrývky. Základním časovým měřítkem byl zvolen měsíc, z něhož byly dále odvozeny sezónní a roční řady. Měsíční hodnoty byly vybrány záměrně. Jsou vhodným kompromisem při rozboru dlouhodobých časových řad. Problém v tomto případě představuje omezené množství spolehlivých metod aplikovatelných na kratší časové řady (např. denní) a také nepochybně velká časová a softwarová náročnost při zpracování denních řad. (Wijngaard et al. 2003, sec. Ledvinka 2008) Měsíční záznamy jsou navíc přímo v této podobě poskytovány Českým hydrometeorologickým ústavem a nevzniká proto zdržení při jejich manipulaci a případných přepočtech (např. při použití dekadického časového měřítka). Měsíční data se také uvažují jako vhodná vstupní jednotka pro výpočet orografické interpolace. S rostoucím časovým měřítkem se totiž lépe projeví změna výšky srážek s nadmořskou výškou (tedy orografický efekt). Přesto byla tato metoda úspěšně aplikována i za užití kratšího (denního) časového měřítka. (Šercl 2008, Šmídová 2009) Zde jsou však předpokladem hodnověrného výsledku srážky trvalého charakteru.

Měsíční řady však byly nekompletní a muselo se přistoupit k jejich doplnění. To proběhlo za použití lineární regrese, kdy byla data doplněna podle nejtěsnějšího vztahu s okolní stanicí. Složitá situace ale vznikla při kompletaci časových řad stanice Praděd, jejíž provoz byl v roce 1997 ukončen. Tato stanice ležící v nadmořské výšce 1490 m popisuje klimatické podmínky v nejvyšších částech povodí Opavy, kde se v dané situaci velmi významně a často rozhoduje o formování odtoku. Proto bylo žádoucí zahrnout ji do všech analýz. Mezi srážkovými řadami Pradědu existovaly poměrně silné vztahy se srážkoměrnou stanicí Vidly, která leží v její blízkosti. V případě teplotních a sněhových řad však kvůli možnému

zhodnocení výsledků k doplnění časových řad Pradědu nedošlo. A to i přesto, že teploty vykazovaly také poměrně silné korelace a prostorová proměnlivost této veličiny není tak velká jako u srážek. Referenčních stanic bylo jednak méně a byly odlehlejší a jednak v případě sněhových a částečně teplotních trendů vykazovala stanice Praděd jiný průběh (nebo alespoň sílu změny). Bylo by vhodné pokusit se nějakým způsobem navázat na časové řady Pradědu spojením se současně měřícími stanicemi (Šerák, Ovčárna, Malý Klín). U těchto stanic ale velké omezení představují krátké řady pozorování.

Užité časové řady následně prošly několikerým testováním absolutní a relativní homogenity. Ukázalo se, že některé testy jsou k detekci nehomogenit slabé a k dalším studiím se nedoporučují (von Neumannův test, jednovýběrový Wilcoxonův test). U Alexanderssonova testu a SNHT se naopak projevila jejich nevýhoda, když detekovaly poměrně hodně ovlivněných roků na začátku nebo na konci sledovaného období.

Aplikace testů relativní homogenity byla omezena přítomností vhodných referenčních řad. Při jejich výběru se předpokládala jejich homogenita (zjištěná předchozím testováním) a případně silná příčinná závislost. Proto byly např. průtokové řady testovány na základě srážkových řad. V případě, že ani jedna možnost nebyla přípustná, přistoupilo se k sestrojení umělé referenční řady z několika jiných homogenních řad. Správnost použitého postupu by bylo dobré vyzkoušet i na jiných časových řadách.

Poměrně obtížnou úlohou byla samotná interpretace výsledků vyplývajících z testování. Autor podle vlastní zkušenosti považuje použití velkého počtu testů za zbytečné a nepřehledné. Vyplatilo by se vybrat pouze dva, případně tři, které se osvědčily v předchozích studiích.

Při sledování odchylek v průběhu součtových řad průtoků se v nich zjevně vyskytovala místa náhlých zlomů. Byla stanovena hypotéza, že na tento okamžitý nárůst odtoku mají vliv extrémní povodňové události, které se v součtových čarách projevují zmíněnými anomáliemi. Sezonální analýza výskytu povodní na Opavě prováděná Šmídovou (2009) tuto domněnku nevyvrátila. Povodňové roky 1977 a 1997 se v součtových čarách projeví zaznamenáníhodnou změnou jejich směrnic.

Kromě náhlých změn v časových řadách byla v jejich průběhu sledována také přítomnost dlouhodobého trendu. Zjištěné trendy v podstatě naplnily očekávání. I v povodí Opavy dochází ke všeobecnému oteplování klimatu, přičemž zde existuje

výšková diferenciace. Vyšší polohy se více oteplují v zimě, nižší naopak v létě. Kromě toho se v obou povodích vyskytuje sestupná tendence v průtocích, která dominuje v teplém půlroce. Na vině je převším signifikantní pokles ve srážkách, který se v teplém půlroce projevil ve východním podhůří Hrubého Jeseníku. Kombinace vyšší teploty a sušších poměrů ve spodní části povodí znamená do budoucna varování před možnými nepříznivými dopady hydrologického sucha. V povodí Opavy se nenachází žádné vodní nádrže, které by mohly v případě výskytu tohoto katastrofického jevu nalepšovat minimální průtok v tocích a tím zabránit hrozícím problémům.

Už od roku 1997, kdy povodí Opavy zasáhla ničivá povodeň, byl rozpracován projekt výstavby vodní nádrže Nové Heřminovy, která by měla v první řadě řešit protipovodňovou ochranu území ležícího dále po toku směrem k závěrovému profilu (především města Krnov). Domnívám se, že realizace tohoto vodního díla by měla druhotně přispět i ke snížení rozkolísanosti průtoků, které jsou právě v létě nejvariabilnější, a ke zvýšení humidity v povodí.

Následně se přistoupilo i k hodnocení těsnosti vztahů mezi odtokem a jednotlivými posuzovanými klimatickými veličinami. Nejtěsnější vazba existuje podle předpokladů mezi srážkami a odtokem. Byla zde však zjištěna výrazná difference mezi korelacemi v teplém a chladném půlroce. To je z hlediska odtokových poměrů pochopitelné, neboť se v případě nízkých teplot spadlá srážka akumuluje v trvalé sněhové pokrývce a odtoku se účastní se zpožděním. Podle vypočtených koeficientů by se dalo toto zpoždění odhadnout zhruba na jeden měsíc, jelikož byly v chladném půlroce evidovány nejsilnější vztahy právě mezi měsíčním odtokem a o měsíc dříve spadlou srážkou. Podobně se v porovnání s průtoky chovala i výška sněhové pokrývky.

Komplikovanější vztah se vyskytuje mezi teplotou a odtokem. Obecně nemá teplota na chování (změnu) odtoku takový zásadní vliv jako srážky. Podle Hartmanna (2009) je její účinek statisticky těžce zaznamenanatelný. Přesto se v časových řadách objevily poměrně významné pravidelnosti, které svědčily o převažující negativní závislosti mezi teplotou (a tedy i evaporací) a odtokem v teplém půlroce. Z pohledu budoucího oteplování by mohl tento vztah případně sílit, ale vše je samozřejmě odvislé od disponibilního množství vody v prostředí.

Kromě mnoha analýz klimatického působení na odtok se závěrečná část diplomové práce věnovala i možnému ovlivnění ze strany člověka. Rozbor změn

v krajinném pokryvu byl limitován použitými daty, které postihovaly pouze jednu dekádu na konci 20.století. I přesto bylo dokázáno, že se krajina v obou povodích mění a může docházet i k pozvolným změnám v odtokovém režimu. Na hlubší rozbor této problematiky by však bylo zapotřebí delší pozorovací období a zároveň detailnější analýza struktury krajiny (např. s využitím leteckých snímků).

Plošné odvodnění krajiny je v našich podmínkách fenoménem. S výstavbou melioračních opatření se v povodí Opavy započalo již v 50.letech minulého století a největšího rozvoje bylo dosaženo v letech osmdesátých. Význam drenážního odtoku je velmi často diskutován a autoři se přou o jeho pozitivním nebo negativním vlivu. Pro možnost efektivního odhadu účinku hydromeliorací na odtok vyslovil Hartmann (2009) jednoduchý předpoklad, že tato opatření mají na odtok vliv pouze během srážkového období. Srážky jsou však proměnná časově nezávislá, proto je vhodné nejprve očistit (eliminovat) průtokovou řadu od dlouhodobého trendu srážek a až poté řešit vzájemný vztah mezi rezidui odtoku a vývojem odvodněných ploch. Tato metoda sice v předkládané práci provedena nebyla, ale určitě by mohla přinést žádoucí výsledky.

Tématem změn srážkoodtokového režimu se u nás zabývali mj. také Kliment a Matoušková (2005, 2007, 2009), jejichž modelová povodí se nacházela v horských pramenných oblastech Šumavy, a Ledvinka (2006, 2008), který se věnoval výzkumu srážkoodtokových vztahů na Rolavě v Krušných horách. Všechna povodí se nachází v geograficky odlišných oblastech, vyznačují se svojí jedinečností (především závislou na reliéfu), a proto jsou jedinečné i podmínky (hlavně klimatické), které tento prostor ovlivňují. Tohoto poznatku už si bylo možné všimnout jen při porovnání povodí Opavy a Opavice, které nabízí tato práce. I přes tyto skutečnosti se lze v některých případech dopátrat stejného nebo alespoň velmi podobného závěru:

- Ve všech třech oblastech se potvrdilo období zvýšené vodnosti mezi lety 1975 – 1982.
- Signifikantní nárůst teploty vzduchu od konce 80.let minulého století, především v teplém půlroce.
- S oteplováním úzce souvisí také úbytek výšky sněhové pokrývky.

Při rozboru antropogenního ovlivnění byly zjištěny změny související s plošným úbytkem orné půdy, která byla postupně nahrazována loukami. Tento proces probíhající kontinuálně od druhé polovině 20.stol se snaží zvýšit stabilitu

krajiny a napravit škody napáchané v minulosti. V pozitivním ohledu by se měly tyto změny odrazit také ve srážkoodtokovém procesu. Transformace krajinného pokryvu však nepůsobí náhle, ale pozvolna, tudíž jsou její účinky na odtok hůře zjištělné.

Na základě provedených analýz v povodí Opavy a Opavice lze provést závěrečné shrnutí. Přestože lidský impakt v krajině může způsobit významné změny ve srážkoodtokovém procesu, modelová povodí jimi s největší pravděpodobností postižena nejsou. K tomuto tvrzení se přiklání i Kulasová et al. (1996), podle níž má Opava v Krnově antropogenně neovlivněný režim. Hlavními příčinnými faktory jsou zde klimatické proměnné, jejichž přirozená variabilita se v odtoku odpovídajícím způsobem projevuje.

10. POUŽITÁ LITERATURA A ZDROJE

10.1 Knižní publikace

- ABDI, H. (2007): *The Kendall rank correlation coefficient*. In: Salkind, N. (ed.): Encyclopedia of measurement and statistics. Thousand Oaks. 7 str.
- ALEXANDERSSON, H., MOBERG, A. (1997): *Homogenization of Swedish temperature data. Part I: homogeneity test for linear trends*. International Journal of Climatology. 17. s. 25-34.
- ANDĚL, J. (1985): *Matematická statistika*. SNTL. Praha. 352 str.
- ANDĚL, J. (1998): *Statistické metody*. Matfyzpress. Praha. 274 str.
- BASISTHA, A. et al. (2009): *Analysis of historical changes in rainfall in the Indian Himalayas*. International Journal of Climatology. 29. s. 555-572.
- BLAŽEK, Z., KŘÍŽ, V., SCHNEIDER, B. (1981): Využití metody dvojné součtové čáry v hydrologii a meteorologii. Vodohospodářský časopis 29, č.1, s. 100-107.
- BRÁZDIL, R. et al. (2005): *Historické a současné povodně v České republice*. Masarykova univerzita. Brno. 369 str.
- BRÁZDIL, R., KIRCHNER, K. et al. (2007): *Vybrané přírodní extrémny a jejich dopady na Moravě a ve Slezsku*. Masarykova univerzita. Brno. 431 str.
- BROSCH, O. (2005): *Povodí Odry*. Anagram. Ostrava. 323 str.
- BROWN, R. D., PETKOVA, N. (2007): *Snow cover variability in Bulgaria mountainous regions, 1931-2000*. International Journal of Climatology. 27. s. 1215-1229.
- BUCHTELE, J. et al. (2003): *Ovlivnění vodního režimu změnami ve využívání území*. In: Patera, A. et al. (ed.): Extrémní hydrologické jevy v povodích. ČHMÚ. Praha. s. 113-122.
- BURN, D. H. (1994): *Hydrologic effects of climatic change in west-central Canada*. Journal of Hydrology. 160. s. 53-70.
- BURN, D. H., ELNUR, M. A. H. (2002): *Detection of hydrologic trends and variability*. Journal of Hydrology. 255. s. 107-122.
- BURN, D. H., CUNDERLIK, J. M. (2004): *Hydrological trends and variability in the Liard River basin*. Hydrological Sciences Journal. 49. s. 53-67.

- BURN, D. H., AZIZ, O. I. A. (2006): *Trends and variability in the hydrological regime of the Mackenzie River Basin*. Journal of Hydrology. 319. s. 282-294.
- BURN, D. H. (2008): *Climatic influences on streamflow timing in the headwaters of the Mackenzie River Basin*. Journal of Hydrology. 352. s. 225-238.
- CAHYNOVÁ, M., HUTH, R. (2007): *Trendy v kalendáři povětrnostních situací HMÚ/ČHMÚ v období 1946-2002*. Meteorologické zprávy. 60. č.6. s. 175-182.
- DEMEK, J. et al. (1965): *Geomorfologie českých zemí*. ČSAV. Praha. 335 str.
- DEMEK, J. (1987): *Zeměpisný lexikon ČSR. Hory a nížiny*. Academia. Praha. 584 str.
- DUB, O. et al. (1969): *Hydrologie. Technický průvodce 34*. SNTL. Praha. 379 str.
- FALARZ, M. (2004): *Variability and trends in duration and depth of snow cover in Poland in the 20th century*. International Journal of Climatology. 24. s. 1713-1727.
- GERSTENGARBE, F. W. et al. (2003): *Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven*. PIK Report. PIK. Potsdam. 79 str.
- HARTMANN, K. (2009). Fachrichtung Angewandte Geographie. FUB. osobní sdělení.
- HENDL, J. (2004): *Přehled statistických metod zpracování dat. Analýza a metaanalýza dat*. Portál. 584 str.
- CHALUŠOVÁ, J. (2004): *Vliv fyzickogeografických faktorů na časový a prostorový výskyt povodní v povodí Labe*. Disertační práce. PřF UK. Praha. 133 str.
- JELÍNEK, J. (2008): *Akumulace a tání sněhové pokrývky v povodí Rokytky v hydrologických letech 2007 a 2008*. Diplomová práce. PřF UK. Praha. 85 str.
- KAHYA, E., KALAYCI, S. (2004): *Trend analysis of streamflow in Turkey*. Journal of Hydrology. 289. s. 128-144.
- KAŇOK, J. (1997): *Antropogenní ovlivnění velikosti průtoků řek povodí Odry po profil Kožle*. Spisy prací Přírodovědecké fakulty Ostravské univerzity. 103. PřF OU. Ostrava. 188 str.
- KAŠPÁREK, L. et al. (2006): *Climate Change and Water Regime in the Czech Republic*. VÚV TGM. Praha. 80 str.
- KHALIQ, M. N., OUARDA, T. B. M. J. (2007): *Short Communication. On the critical values of the standard normal homogeneity test (SNHT)*. International Journal of Climatology. 27. s. 681-687.

- KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M. (2005a): *Trendy ve vývoji odtoku v povodí Otavy*. Geografie – Sborník ČGS. 110. č.1. ČGS. Praha. s. 32-45.
- KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M. (2005b): *Změny ve vývoji odtoku ve vybraných povodích horské a podhorské Šumavy*. Sborník VI. Česko-slovenské konference Hydrologické dny 2005. Bratislava. s. 370-388.
- KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M. (2007): *Změny ve vývoji odtoku v pramenných oblastech Otavy v kontextu vlivu člověka a změny klimatu*. In: Langhammer, J. (ed.): *Změny v krajině a povodňové riziko*. Sborník příspěvků semináře Povodně a změny v krajině. PřF UK. Praha. s. 95-103.
- KLIMENT, Z., MATOUŠKOVÁ, M. (2009): *Runoff changes in the Šumava Mountains (Black Forest) and the foothill regions: Extent of influence by human impact and climate change*. Water Resources Management. 23. s. 1813-1834.
- KRÁLOVEC, V. (2006): *Hodnocení srážkoodtokových poměrů v povodí Opavy*. Bakalářská práce. PřF UK. Praha. 80 str.
- KŘÍŽ, V. (2000): *Výzkum antropogenních změn vodního režimu v ČR*. Sborník V. národní konference Hydrologické dny 2000. Plzeň. s. 89-94.
- KŘÍŽ, V., TOLASZ, R. (1990): *Sněhová pokrývka hornatin a vrchovin Severomoravského kraje*. Práce a studie. seš. 18. ČHMÚ. Praha. 46 str.
- KÜHNL, K., PAVLÍK, Z. (1981): *Úvod do kvantitativních metod pro geografu*. SPN. Praha. 268 str.
- KULASOVÁ, B. et al. (1996): *Homogenita a antropogenní ovlivnění průtokových řad 1931-1990*. Výzkumná zpráva úkolu 43/210. ČHMÚ. Praha. 125 str.
- KURÁŽ, V., SOUKUP, M. (2004): *Vliv odvodnění na půdní a hydrologické režimy*. *Vodní hospodářství*. č.8. s. 246-248.
- KYŠOVÁ, E. (2007): *Komplexní fyzickogeografická charakteristika povodí Bílé Opavy, Střední Opavy a Černé Opavy*. Bakalářská práce. PřF UPOL. Olomouc. 50 str.
- LANGHAMMER, J. (2007): *Antropogenní změny v krajině a povodňové riziko*. In: Langhammer, J. (ed.): *Změny v krajině a povodňové riziko*. Sborník příspěvků semináře Povodně a změny v krajině. PřF UK. Praha. s. 183-191.
- LEDVINKA, O. (2006): *Srážko-odtokové poměry povodí Rolavy*. Ročníková práce. PřF UK. Praha. 93 str.
- LEDVINKA, O. (2008): *Trendy srážkoodtokového režimu v povodí Rolavy*. Diplomová práce. PřF UK. Praha. 122 str.

- LIBISELLER, C. (2004): *MULTMK/PARTMK. A Program for the computation of multivariate and partial Mann-Kendall test*. LIU. Linköping. 18 str.
- MA, Z. et al. (2008): *Analysis of impacts of climate variability and human activity on streamflow for a river basin in arid region of northwest China*. Journal of Hydrology. 352. s. 239-249.
- NĚMEC, L., ZUSKOVÁ, I. (2005): *Změny sněhové pokrývky v České republice od roku 1926*. Meteorologické zprávy. 58. č.5. ČHMÚ. Praha. s. 135-138.
- NĚMEČEK, J., TOMÁŠEK, M. (1983): *Geografie půd ČSR*. Studie ČSAV. 98 str.
- NOVICKÝ, O. et al. (2006): *Výzkum a ochrana hydrosféry – výzkum vztahů a procesů ve vodní složce životního prostředí, orientovaný na vliv antropogenních tlaků, její trvalé užívání a ochranu, včetně legislativních nástrojů*. Výstupy řešení výzkumného záměru v roce 2006. VÚV TGM. Praha. 279 str.
- PODLAHA, A. (2003): *Vliv geografických faktorů na režim minimálního odtoku v povodích České republiky*. Magisterská práce. PřF UK. Praha. 158 str.
- PRETEL, J. (2006): *Klimatická změna a její vliv na vodní režim*. Vodní hospodářství. 56. č.7. s. 227-230.
- QUITT, E. (1971): *Klimatické oblasti Československa*. ČSAV. Brno. 82 str.
- RADZIEJEWSKI, M., KUNDZEWICZ, Z. W. (2004): *Detectability of changes in hydrological records*. Hydrological Sciences Journal. 49. s. 39-51.
- ŘEHÁNEK, T., KRÍŽ, V. (2002): *Cvičení z hydrologie*. PřF OU. Ostrava. 54 str.
- SALAS, J. D. (1993): *Analysis and modeling of hydrologic time series*. Chapter 19. In: Maidment, D. R. (ed.): Handbook of hydrology. The McGraw Hill. 72 str.
- SCHLITTGEN, R., STREITBERG, B. (2001): *Zeitreihenanalyse*. Oldenbourg. München. 571 str.
- SCHÖNWIESE, CH. D. (2006): *Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler*. Bornträger. Stuttgart. 302 str.
- ŠERCL, P., LETT, P. (2004): *Výpočet rastru srážek v prostředí GIS*. Uživatelská příručka. ČHMÚ. Praha. 8 str.
- ŠERCL, P. (2008): *Hodnocení metod odhadu plošných srážek*. Meteorologické zprávy. 61. č.2. s. 33-43.
- ŠMÍDOVÁ, J. (2009): *Analýza mechanismu vzniku povodní v povodí Opavy po profil Opava*. Diplomová práce. PřF UK. Praha (v tisku).
- ŠTĚPÁNEK, P. (2004): *Homogenizace teploty vzduchu na území České republiky v období přístrojových pozorování*. Práce a studie. seš. 32. ČHMÚ. Praha. 58 str.

- TOLASZ, R. et al. (2007): *Atlas podnebí Česka*. ČHMÚ. Praha. 256 str.
- TOMÁŠEK, M. (2003): *Půdy České republiky*. ČGS. Praha. 67 str.
- TOŠIĆ, I. (2004): *Spatial and temporal variability of winter and summer precipitation over Serbia and Montenegro*. Theoretical and Applied Climatology. 77. s. 47-56.
- VLČEK, V. et al. (1984): *Zeměpisný lexikon ČSR. Vodní toky a nádrže*. Academia. Praha. 316 str.
- XIONG, L., GUO, S. (2004): *Trend test and change-point detection for the annual discharge series of the Yangtze River at the Yichang hydrological station*. Hydrological Sciences Journal. 49. s. 99-112.
- YANING, C. et al. (2009): *Fifty-year climate change and its effect on annual runoff in the Tarim River Basin, China*. Quaternary International (v tisku).
- ZVÁRA, K. (2000): *Biostatistika*. Karolinum. Praha. 210 str.

10.2 Internetové zdroje

ARCDATA Praha.

[<http://www.arcdata.cz> – 14.6.2009]

Český hydrometeorologický ústav.

[<http://www.chmi.cz>]

EEA – European Environment Agency.

[<http://www.eea.europa.eu> – 22.3.2007]

Geografická služba AČR.

[<http://www.mapy.army.cz> – 22.6.2009]

GRIMVALL, A., LIBISELLER, C. (2003): MULTMK/PARTMK - a Visual Basic program for multivariate and conditional Mann-Kendall tests.

[http://www.yangtzeffloods.net/AEoooErlAEi1P/Mann-Kendall_test.xls – 18.5.2009]

Portál veřejné správy České republiky. CENIA – mapové služby. Praha. 2006.

[<http://geoportal.cenia.cz/mapmaker/cenia/portal> – 7.8.2006]

ŠTĚPÁNEK, P. (2003): AnClim – Software for time series analysis (for Windows).

[<http://www.climahom.eu> – 10.5.2009]

10.3 Mapové a datové podklady

Corine Land Cover. MŽP. Praha. 2006.

Databáze plošných a lineárních prvků odvodnění. ZVHS. Brno. 2007

Digitální báze vodohospodářských dat DIBAVOD. VÚV TGM. Praha. 2007

DMÚ 25. VGHMÚř. Dobruška. 2004.

Hydrologická databáze. ČHMÚ. Praha. 2006.

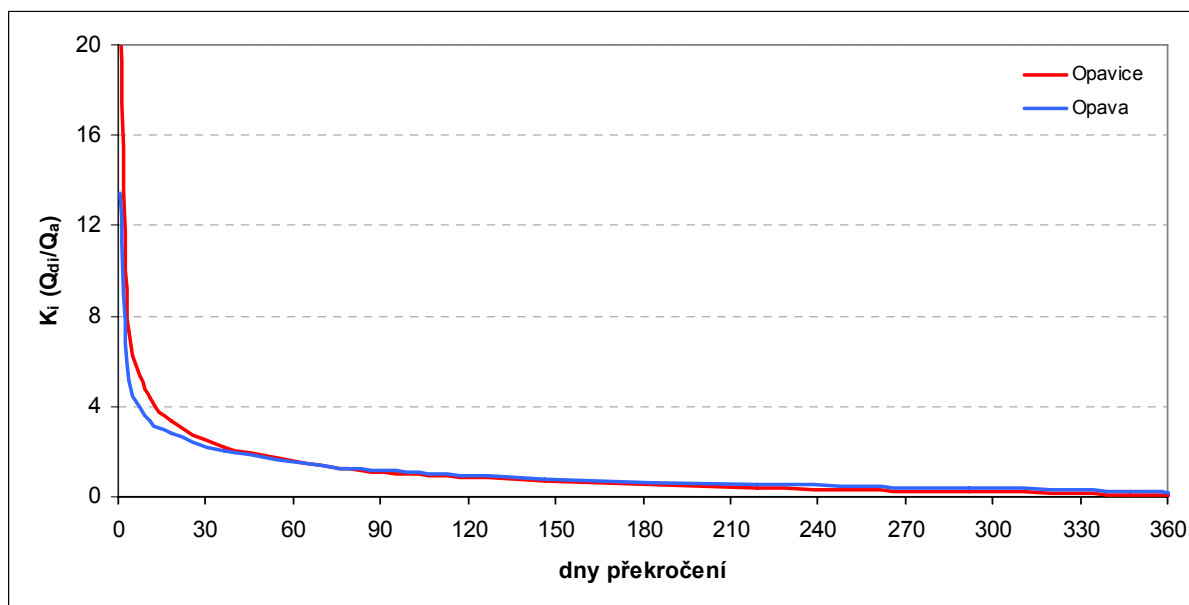
Klimatologická databáze CLIDATA. ČHMÚ. Praha. 2006.

Základní vodohospodářská mapa 1:50 000. VÚV TGM. Praha. 2003.

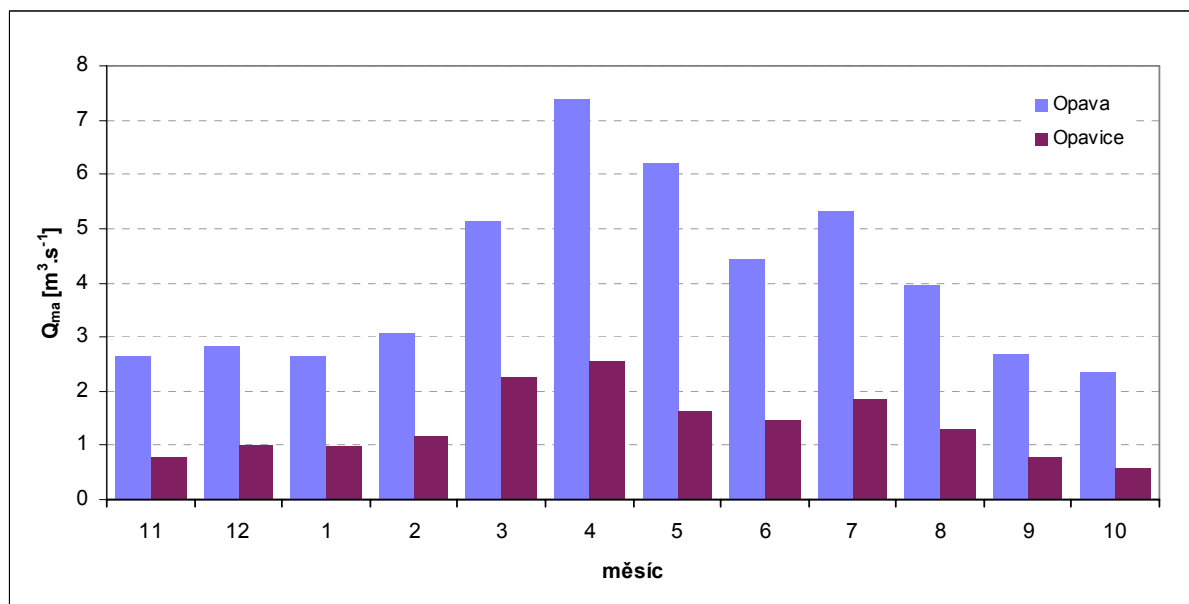
PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA 1: PRŮMĚRNÉ KŘIVKY PŘEKROČENÍ K_i (Q_{di}/Q_a) PRO OPAVU A OPAVICI (1953-2005)	127
PŘÍLOHA 2: Q_{ma} V POVODÍ OPAVY A OPAVICE (1953-2005).....	127
PŘÍLOHA 3: STANOVENÍ VODNOSTI Q_R NA OPAVICI PODLE PRAVDĚPODOBNOСТИ PŘEKROČENÍ (P) A DOBY OPAKOVÁNÍ (N)	128
PŘÍLOHA 4: STANOVENÍ VODNOSTI Q_R NA OPAVĚ PODLE PRAVDĚPODOBNOСТИ PŘEKROČENÍ (P) A DOBY OPAKOVÁNÍ (N)	129
PŘÍLOHA 5: ROČNÍ CHOD MĚSÍČNÍCH CHARAKTERISTIK TEPLoty VZDUCHU – STANICE ČERVENÁ (1962-2006)..	130
PŘÍLOHA 6: ROČNÍ CHOD MĚSÍČNÍCH CHARAKTERISTIK TEPLoty VZDUCHU – STANICE MĚSTO ALBRECHTICE-ŽÁRY (1962-2006).....	130
PŘÍLOHA 7: ROČNÍ CHOD MĚSÍČNÍCH CHARAKTERISTIK TEPLoty VZDUCHU – STANICE PRADĚD (1962-2006)	131
PŘÍLOHA 8: ZMĚNY ROČNÍ TEPLoty VZDUCHU NA VYBRANÝCH STANICÍCH (1962-2006).....	131
PŘÍLOHA 9: PRŮMĚRNÁ MĚSÍČNÍ VÝŠKA SNĚHOVÉ POKRÝVKY VE VYBRANÝCH STANICÍCH (1962-2006)	132
PŘÍLOHA 10: VZTAHY MEZI SRÁŽKAMI A TEPLotou NA STANICI MĚSTO ALBRECHTICE-ŽÁRY (1962-2006)	132
PŘÍLOHA 11: VZTAHY MEZI SRÁŽKAMI A TEPLotou NA STANICI PRADĚD (1962-1994).....	133
PŘÍLOHA 12: TREND VE SRÁŽKÁCH V CHLADNÉM PŮLROCE (1962-2006)	133
PŘÍLOHA 13: TREND VE SRÁŽKÁCH V TEPLÉM PŮLROCE (1962-2006).....	134
PŘÍLOHA 14: INDEX ZMĚNY LANDUSE (1990-2000)	134
PŘÍLOHA 15: VYSVĚTLIVKY ZKRATEK POUŽITÝCH HYDROKLIMATICKÝCH VELIČIN	135
PŘÍLOHA 16: POLOHA KLIMATOLOGICKÉ STANICE SVĚTLÁ HORA	136
PŘÍLOHA 17: MĚSÍČNÍ, SEZÓNŇÍ A ROČNÍ PRŮTOKY V PROFILU OPAVA-KRNOV	137
PŘÍLOHA 18: MĚSÍČNÍ, SEZÓNŇÍ A ROČNÍ PRŮTOKY V PROFILU OPAVICE-KRNOV	138
PŘÍLOHA 19: MĚSÍČNÍ, SEZÓNŇÍ A ROČNÍ VÝŠKY SRÁŽEK V POVODÍ OPAVY	139
PŘÍLOHA 20: MĚSÍČNÍ, SEZÓNŇÍ A ROČNÍ VÝŠKY SRÁŽEK V POVODÍ OPAVICE	140
PŘÍLOHA 21: MĚSÍČNÍ, SEZÓNŇÍ A ROČNÍ TEPLota VZDUCHU NA STANICI MA-ŽÁRY	141
PŘÍLOHA 22: MĚSÍČNÍ, SEZÓNŇÍ A ROČNÍ TEPLota VZDUCHU NA STANICI ČERVENÁ	142
PŘÍLOHA 23: MĚSÍČNÍ, SEZÓNŇÍ A ROČNÍ TEPLota VZDUCHU NA STANICI PRADĚD	143
PŘÍLOHA 24: ROČNÍ VÝŠKA TEPLoty VZDUCHU A SNĚHOVÉ POKRÝVKY V POVODÍ	144
PŘÍLOHA 25: VÝŠKA A POČET DNÍ SE SNĚHOVOU POKRÝVKOU – MA-ŽÁRY	145
PŘÍLOHA 26: VÝŠKA A POČET DNÍ SE SNĚHOVOU POKRÝVKOU – ČERVENÁ	146
PŘÍLOHA 27: VÝŠKA A POČET DNÍ SE SNĚHOVOU POKRÝVKOU – PRADĚD	147
PŘÍLOHA 28: MĚSÍČNÍ, SEZÓNŇÍ A ROČNÍ TRENDY SRÁŽEK NA JEDNOTLIVÝCH KLIMATOLOGICKÝCH A SRÁŽKOMĚRNÝCH STANICÍCH	148



Příloha 1: Průměrné křivky překročení $K_i (Q_{di}/Q_a)$ pro Opavu a Opavici (1953-2005)
(Zdroj: ČHMÚ)



Příloha 2: Q_{ma} v povodí Opavy a Opavice (1953-2005)
(Zdroj: ČHMÚ)

Příloha 3: Stanovení vodnosti Q_r na Opavici podle pravděpodobnosti překročení (P) a doby opakování (N)

Rok	Q_r [m ³ .s ⁻¹]	P [%]	Vodnost toků	N [roky]	Rok	Q_r [m ³ .s ⁻¹]	P [%]	Vodnost toků	N [roky]	Rok	Q_r [m ³ .s ⁻¹]	P [%]	Vodnost toků	N [roky]
1953	1,66	20,4	V	4,91	1971	1,79	14,8	V	6,75	1989	1,07	70,4	S	1,42
1954	0,95	79,6	S	1,26	1972	1,63	24,1	V	4,15	1990	0,49	96,3	MS	1,04
1955	1,39	42,6	P	2,35	1973	0,85	88,9	S	1,13	1991	1,10	66,7	S	1,50
1956	1,41	35,2	V	2,84	1974	0,90	83,3	S	1,20	1992	1,15	63,0	S	1,59
1957	1,20	53,7	P	1,86	1975	2,15	9,3	MV	10,80	1993	0,78	92,6	MS	1,08
1958	1,65	22,2	V	4,50	1976	1,31	46,3	P	2,16	1994	0,88	85,2	S	1,17
1959	0,90	81,5	S	1,23	1977	3,55	1,9	MV	54,00	1995	1,41	37,0	V	2,70
1960	1,18	57,4	P	1,74	1978	1,42	33,3	V	3,00	1996	2,15	7,4	MV	13,50
1961	0,49	98,1	MS	1,02	1979	1,57	27,8	V	3,60	1997	2,10	11,1	V	9,00
1962	1,43	31,5	V	3,18	1980	2,57	5,6	MV	18,00	1998	1,18	59,3	P	1,69
1963	1,18	61,1	S	1,64	1981	1,20	51,9	P	1,93	1999	1,40	38,9	V	2,57
1964	1,01	74,1	S	1,35	1982	1,57	29,6	V	3,38	2000	1,14	64,8	S	1,54
1965	2,84	3,7	MV	27,00	1983	0,85	87,0	S	1,15	2001	1,60	25,9	V	3,86
1966	1,76	16,7	V	6,00	1984	0,59	94,4	MS	1,06	2002	1,10	68,5	S	1,46
1967	1,39	40,7	P	2,45	1985	1,19	55,6	P	1,80	2003	0,79	90,7	MS	1,10
1968	1,99	13,0	V	7,71	1986	1,33	44,4	P	2,25	2004	1,24	48,1	P	2,08
1969	0,95	77,8	S	1,29	1987	1,22	50,0	P	2,00	2005	1,04	72,2	S	1,38
1970	1,67	18,5	V	5,40	1988	0,99	75,9	S	1,32	(Zdroj: ČHMÚ)				

Vysvětlivky: P...pravděpodobnost překročení, N...doba opakování

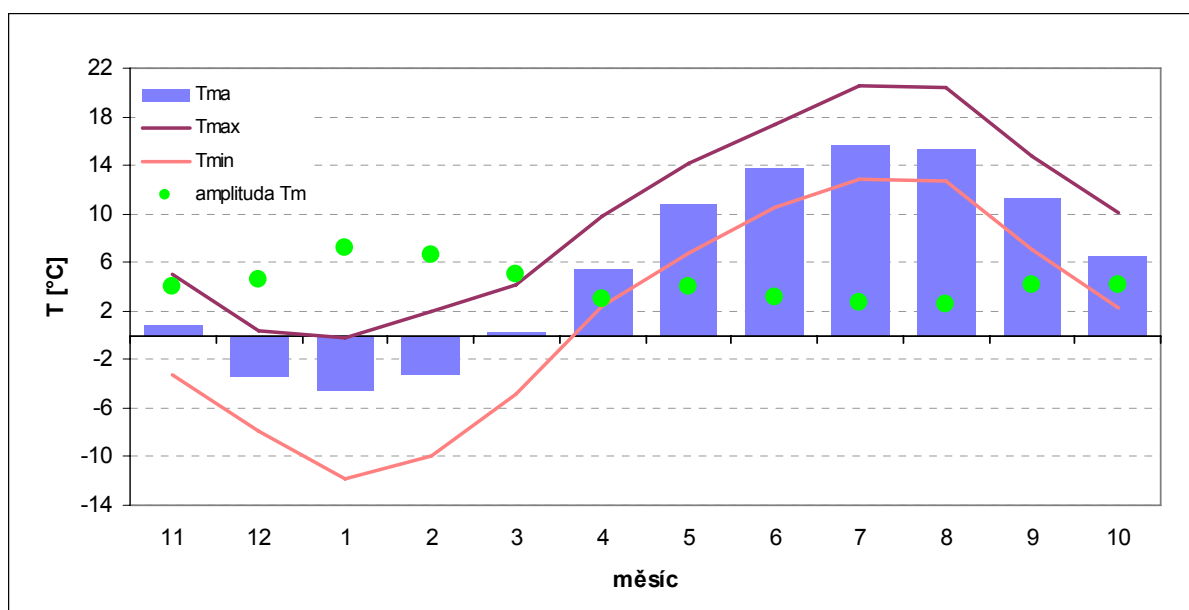
MV...mimořádně vodný rok, V...vodný rok, P...průměrně vodný rok, S...málo vodný rok, MS...mimořádně málo vodný rok

Příloha 4: Stanovení vodnosti Q_r na Opavě podle pravděpodobnosti překročení (P) a doby opakování (N)

Rok	Q_r [m ³ .s ⁻¹]	P [%]	Vodnost toků	N [roky]	Rok	Q_r [m ³ .s ⁻¹]	P [%]	Vodnost toků	N [roky]	Rok	Q_r [m ³ .s ⁻¹]	P [%]	Vodnost toků	N [roky]
1953	3,67	59,3	P	1,69	1971	4,43	27,8	V	3,60	1989	3,32	74,1	S	1,35
1954	2,60	92,6	MS	1,08	1972	4,97	22,2	V	4,50	1990	2,13	96,3	MS	1,04
1955	3,72	55,6	P	1,80	1973	3,80	48,1	P	2,08	1991	3,51	66,7	S	1,50
1956	3,73	53,7	P	1,86	1974	3,26	77,8	S	1,29	1992	3,67	61,1	S	1,64
1957	3,11	79,6	S	1,26	1975	5,63	11,1	V	9,00	1993	2,94	85,2	S	1,17
1958	5,44	13,0	V	7,71	1976	4,28	31,5	V	3,18	1994	3,69	57,4	P	1,74
1959	3,36	70,4	S	1,42	1977	7,79	1,9	MV	54,00	1995	4,60	24,1	V	4,15
1960	3,93	46,3	P	2,16	1978	4,05	40,7	P	2,45	1996	5,79	9,3	MV	10,80
1961	2,08	98,1	MS	1,02	1979	4,02	42,6	P	2,35	1997	6,51	5,6	MV	18,00
1962	5,31	16,7	V	6,00	1980	6,60	3,7	MV	27,00	1998	3,79	50,0	P	2,00
1963	3,41	68,5	S	1,46	1981	3,96	44,4	P	2,25	1999	3,79	51,9	P	1,93
1964	2,84	87,0	S	1,15	1982	5,15	20,4	V	4,91	2000	3,53	64,8	S	1,54
1965	6,33	7,4	MV	13,50	1983	3,29	75,9	S	1,32	2001	4,10	37,0	V	2,70
1966	4,35	29,6	V	3,38	1984	2,73	90,7	MS	1,10	2002	3,64	63,0	S	1,59
1967	5,34	14,8	V	6,75	1985	4,26	33,3	V	3,00	2003	2,44	94,4	MS	1,06
1968	5,29	18,5	V	5,40	1986	4,19	35,2	V	2,84	2004	3,33	72,2	S	1,38
1969	2,77	88,9	S	1,13	1987	4,06	38,9	V	2,57	2005	2,95	83,3	S	1,20
1970	4,44	25,9	V	3,86	1988	3,06	81,5	S	1,23	(Zdroj: ČHMÚ)				

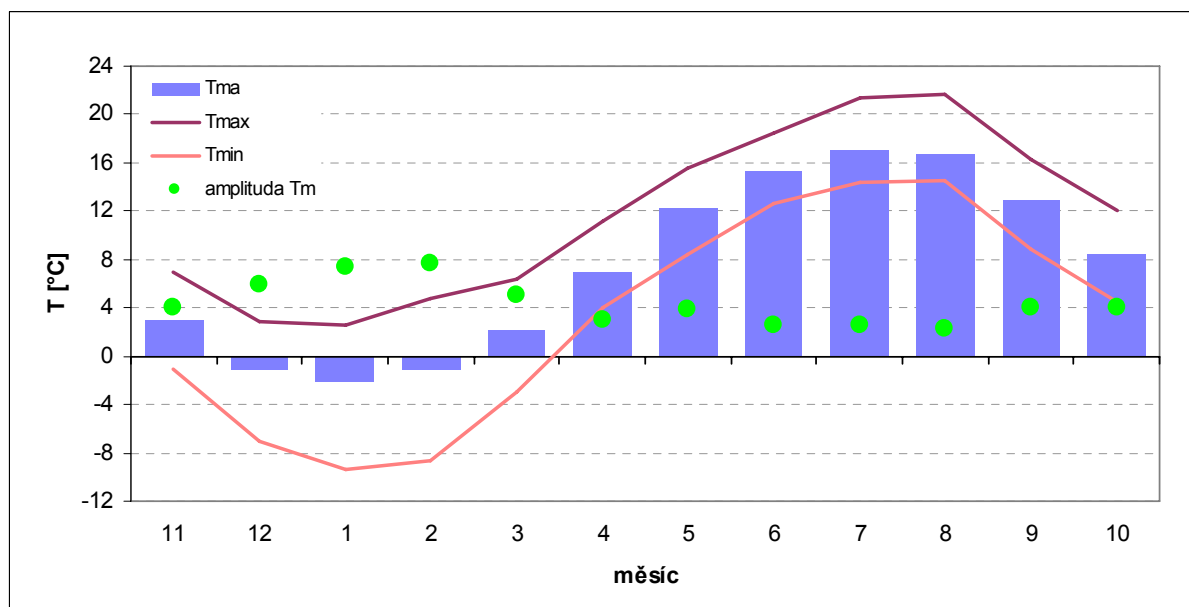
Vysvětlivky: P...pravděpodobnost překročení, N...doba opakování

MV...mimořádně vodný rok, V...vodný rok, P...průměrně vodný rok, S...málo vodný rok, MS...mimořádně málo vodný rok



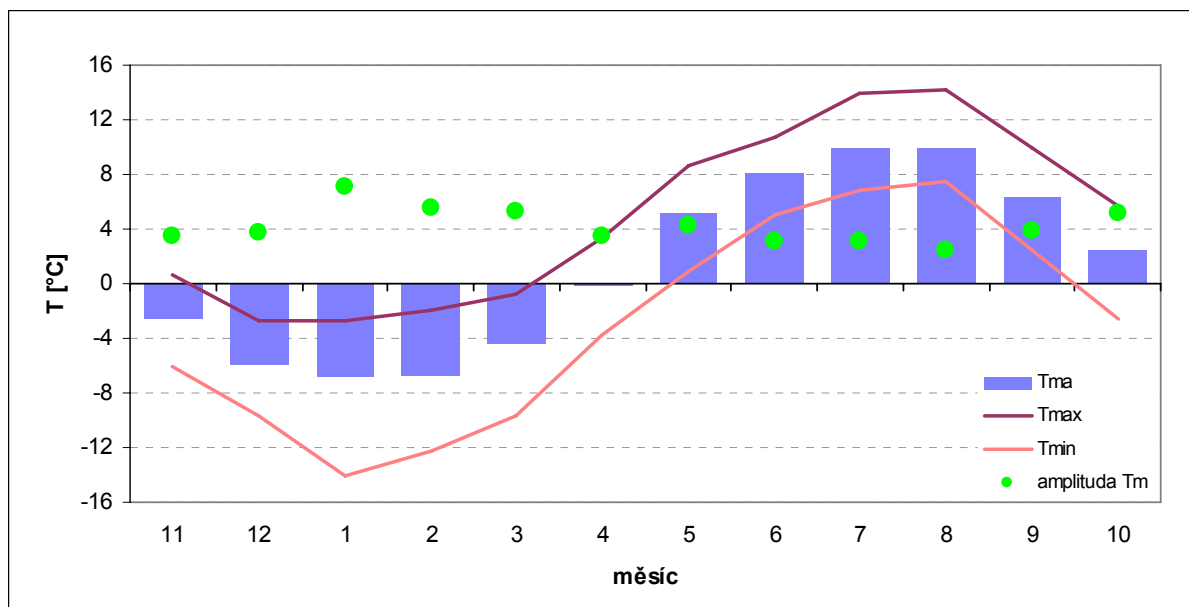
Příloha 5: Roční chod měsíčních charakteristik teploty vzduchu – stanice Červená (1962-2006)

(Zdroj: ČHMÚ)



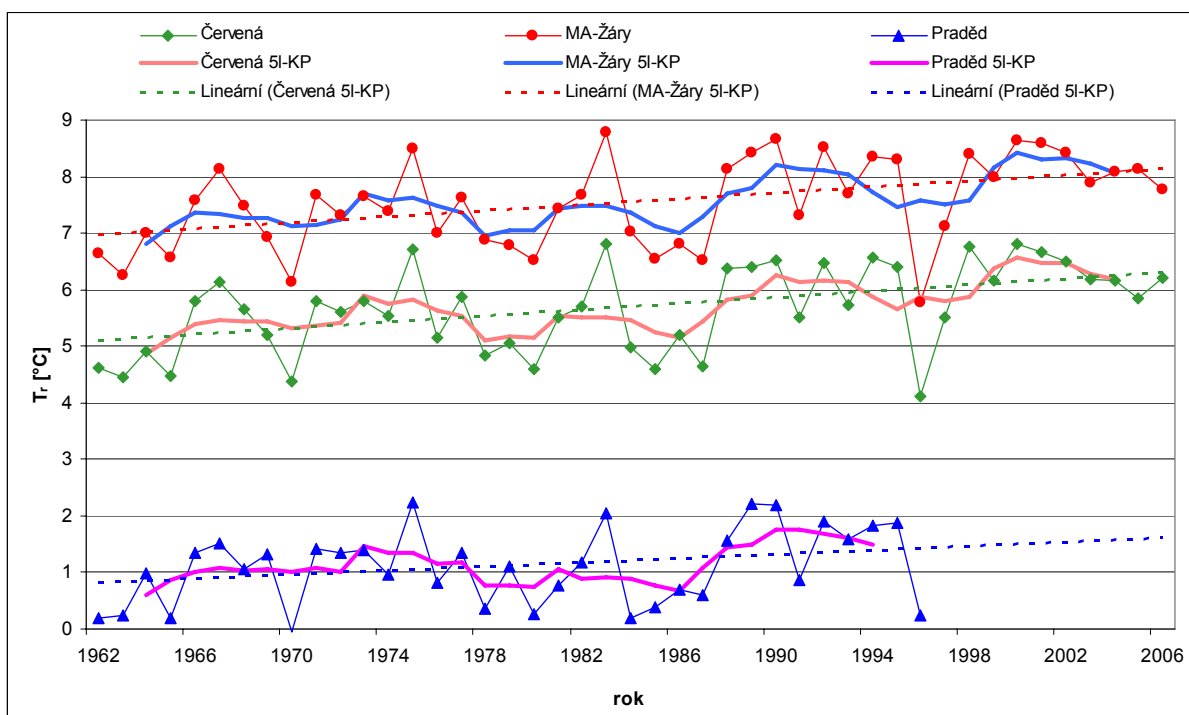
Příloha 6: Roční chod měsíčních charakteristik teploty vzduchu – stanice Město Albrechtice-Žáry (1962-2006)

(Zdroj: ČHMÚ)



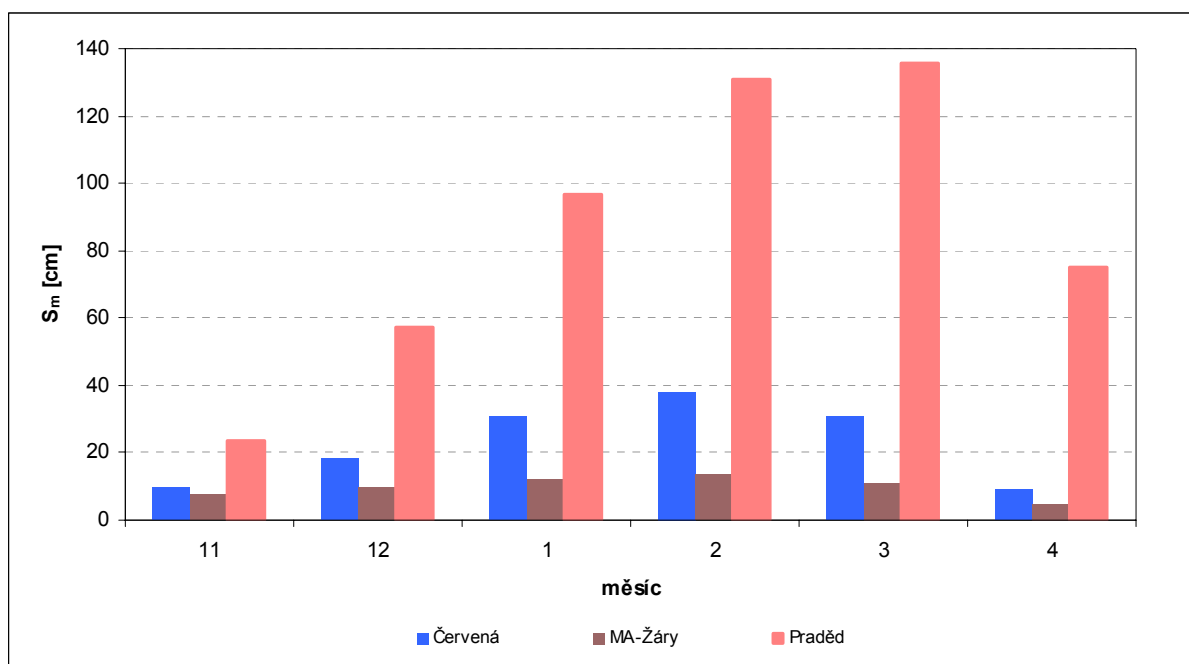
Příloha 7: Roční chod měsíčních charakteristik teploty vzduchu – stanice Praděd (1962-1997)

(Zdroj: ČHMÚ)



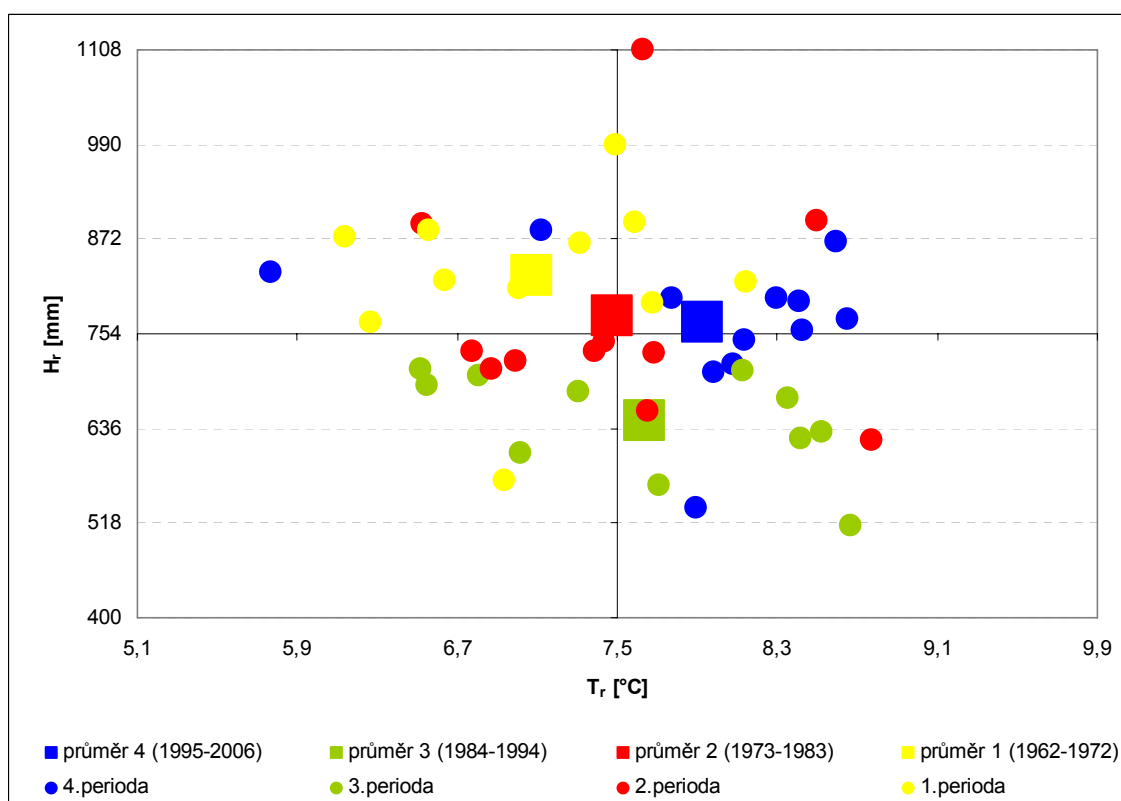
Příloha 8: Změny roční teploty vzduchu na vybraných stanicích (1962-2006)

(Zdroj: ČHMÚ)



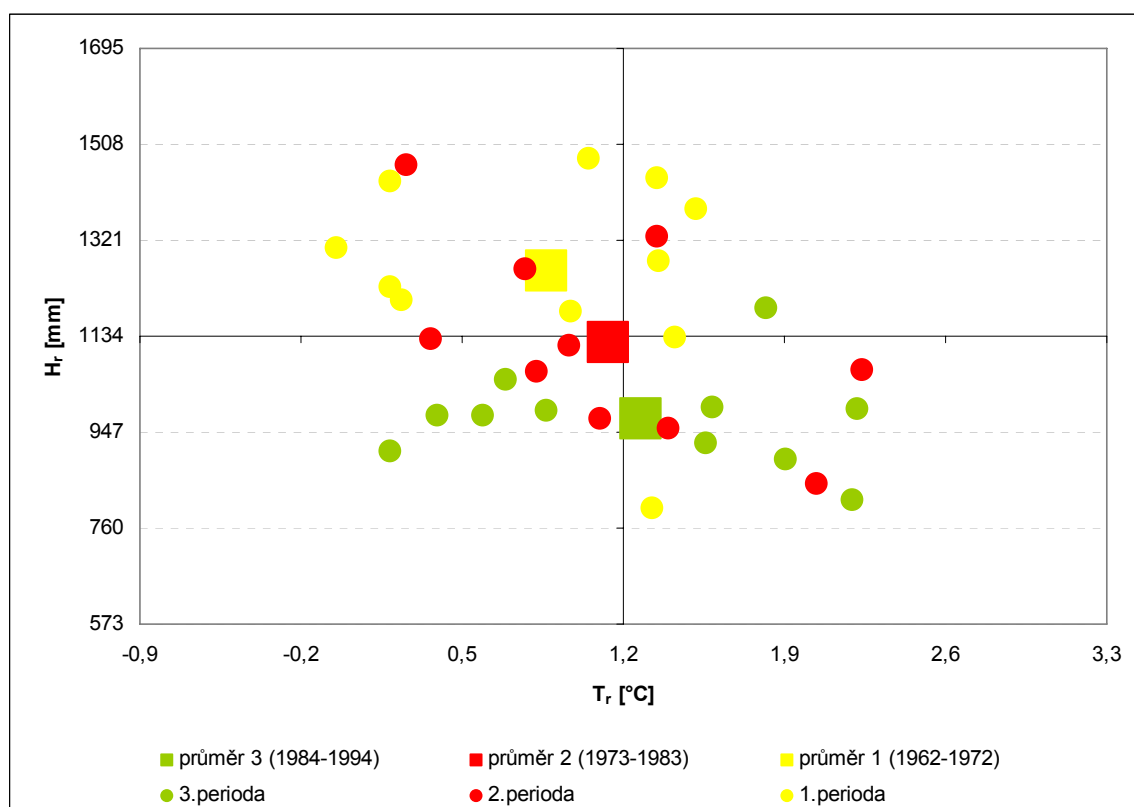
Příloha 9: Průměrná měsíční výška sněhové pokrývky ve vybraných stanicích (1962-2006)

(Zdroj: ČHMÚ)

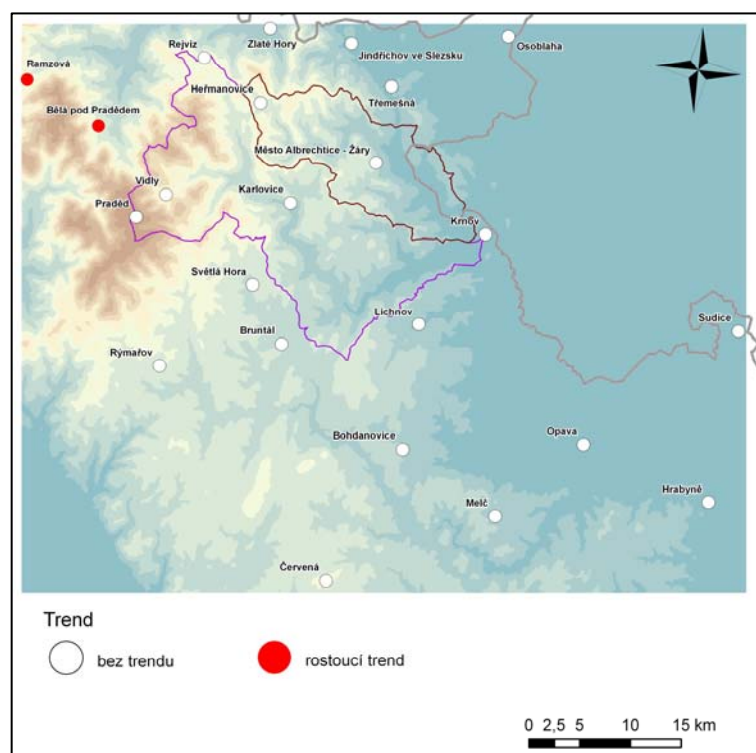


Příloha 10: Vztahy mezi srážkami a teplotou na stanici Město Albrechtice-Žáry (1962-2006)

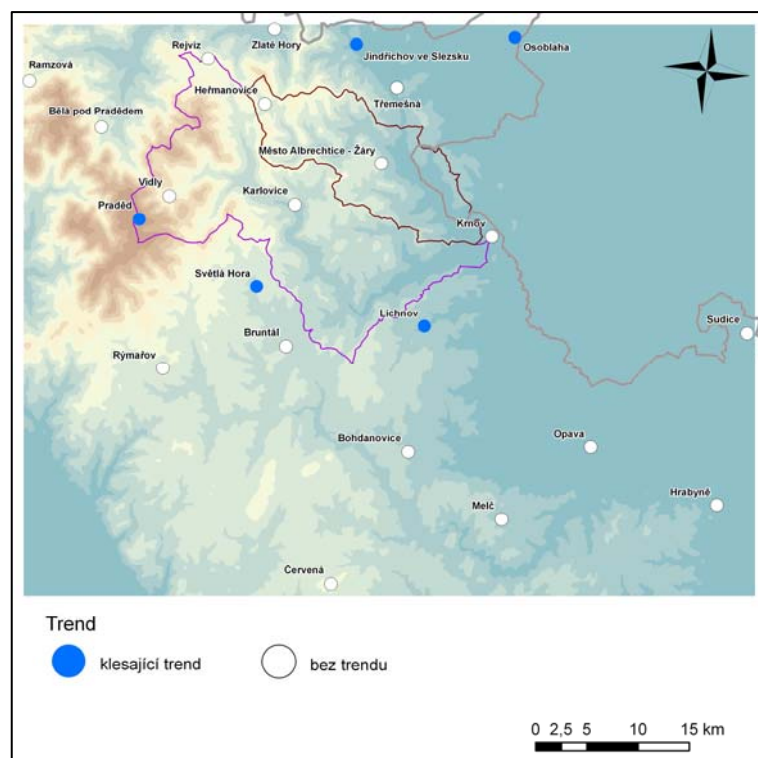
(Zdroj: ČHMÚ)



Příloha 11: Vztahy mezi srážkami a teplotou na stanici Praděd (1962-1994)
(Zdroj: ČHMÚ)



Příloha 12: Trend ve srážkách v chladném půlroce (1962-2006)
(Zdroj: ČHMÚ, DMÚ25)



Příloha 13: Trend ve srážkách v teplém půlroce (1962-2006) (Zdroj: ČHMÚ, DMÚ25)

Opava	Název	Podíl zastoupení 90 (%)	Podíl zastoupení 00 (%)	Index změny
	Staveniště	0,00	0,08	nehodnoceno
	Louky	5,57	12,89	231,45
	Smišené lesy	8,75	9,06	103,61
	Přechodová stadia lesa a křoviny	7,83	8,11	103,59
	Městská nesouvislá zástavba	2,95	3,04	102,82
	Průmyslové nebo obchodní zóny	0,53	0,53	100,00
	Zařízení pro sport a rekreaci	0,17	0,17	100,00
	Listnaté lesy	1,22	1,22	100,00
	Přírodní pastviny	0,17	0,17	100,00
	Slatiny a vřesoviště, křovinaté formace	0,12	0,12	100,00
	Rašeliniště	0,14	0,14	100,00
	Jehličnaté lesy	51,69	51,00	98,67
	Převážně zemědělská území s příměsí přirozené vegetace	7,38	7,15	96,86
	Orná půda mimo zavlažovaných ploch	13,49	6,33	46,91
Opavice	Louky	5,76	9,94	172,45
	Přechodová stadia lesa a křoviny	5,47	6,26	114,48
	Smišené lesy	5,29	6,02	113,80
	Městská nesouvislá zástavba	4,35	4,41	101,20
	Převážně zemědělská území s příměsí přirozené vegetace	18,91	19,02	100,61
	Průmyslové nebo obchodní zóny	0,14	0,14	100,00
	Komplexní systémy kultur a parcel	1,16	1,16	100,00
	Jehličnaté lesy	36,67	35,18	95,95
	Listnaté lesy	0,66	0,62	94,22
	Orná půda mimo zavlažovaných ploch	21,58	17,24	79,87

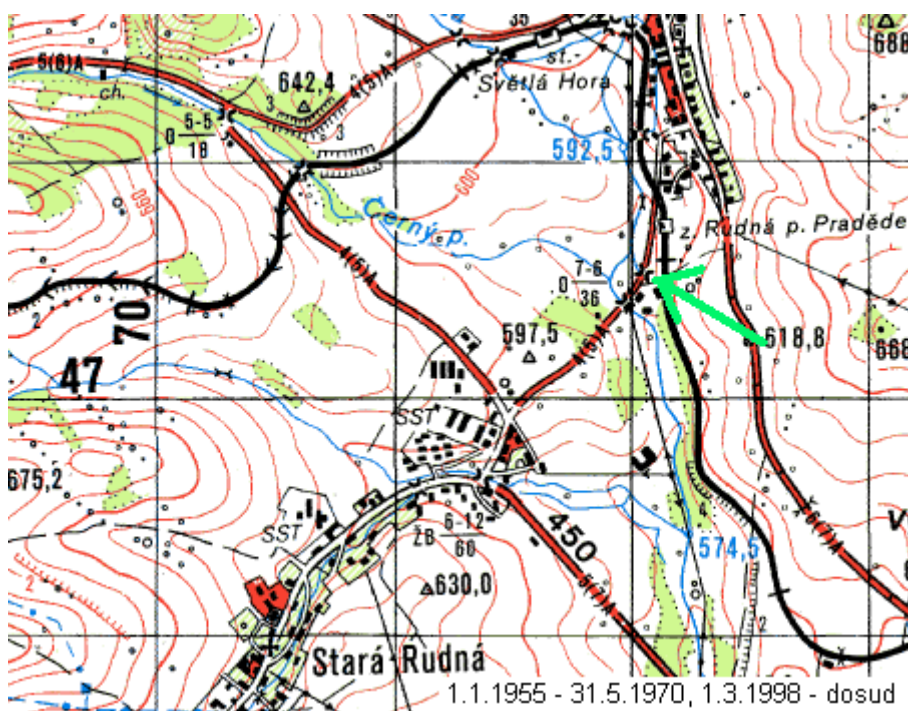
Příloha 14: Index změny landuse (1990-2000)

(Zdroj: Corine Land Cover)

Označení	Popis
Qr	průměrný roční průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
Qchlad (XI-IV)	průměrný průtok v chladném půlroce [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
Qtep (V-X)	průměrný průtok v teplém půlroce [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
Hr	Průměrná roční výška srážek [mm]
Hr_Krnov	Průměrný roční úhrn srážek ve stanici Krnov [mm]
Hr_Karlovice	Průměrný roční úhrn srážek ve stanici Karlovice [mm]
Hr_Vidly	Průměrný roční úhrn srážek ve stanici Vidly [mm]
Hr_MA-Žáry	Průměrný roční úhrn srážek ve stanici Město Albrechtice-Žáry [mm]
Hr_Heřmanovice	Průměrný roční úhrn srážek ve stanici Heřmanovice [mm]
Hchlad	Průměrná výška srážek v chladném půlroce [mm]
Hchlad_Krnov	Průměrný úhrn srážek v chladném půlroce ve stanici Krnov [mm]
Hchlad_Karlovice	Průměrný úhrn srážek v chladném půlroce ve stanici Karlovice [mm]
Hchlad_Vidly	Průměrný úhrn srážek v chladném půlroce ve stanici Vidly [mm]
Hchlad_MA-Žáry	Průměrný úhrn srážek v chladném půlroce ve stanici Město Albrechtice-Žáry [mm]
Hchlad_Heřmanovice	Průměrný úhrn srážek v chladném půlroce ve stanici Heřmanovice [mm]
Htep	Průměrná výška srážek v teplém půlroce [mm]
Htep_Krnov	Průměrný úhrn srážek v teplém půlroce ve stanici Krnov [mm]
Htep_Karlovice	Průměrný úhrn srážek v teplém půlroce ve stanici Karlovice [mm]
Htep_Vidly	Průměrný úhrn srážek v teplém půlroce ve stanici Vidly [mm]
Htep_MA-Žáry	Průměrný úhrn srážek v teplém půlroce ve stanici Město Albrechtice-Žáry [mm]
Htep_Heřmanovice	Průměrný úhrn srážek v teplém půlroce ve stanici Heřmanovice [mm]
Tr	Průměrná roční teplota vzduchu [$^{\circ}\text{C}$]
Tr_Krnov	Průměrná roční teplota vzduchu ve stanici Krnov [$^{\circ}\text{C}$]
Tr_Světlá Hora	Průměrná roční teplota vzduchu ve stanici Světlá Hora [$^{\circ}\text{C}$]
Tr_MA-Žáry	Průměrná roční teplota vzduchu ve stanici Město Albrechtice-Žáry [$^{\circ}\text{C}$]
Tchlad_Krnov	Průměrná teplota vzduchu v chladném půlroce ve stanici Krnov [$^{\circ}\text{C}$]
Tchlad_Světlá Hora	Průměrná teplota vzduchu v chladném půlroce ve stanici Světlá Hora [$^{\circ}\text{C}$]
Tchlad_MA-Žáry	Průměrná teplota vzduchu v chladném půlroce ve stanici Město Albrechtice-Žáry [$^{\circ}\text{C}$]
Ttep_Krnov	Průměrná teplota vzduchu v teplém půlroce ve stanici Krnov [$^{\circ}\text{C}$]
Ttep_Světlá Hora	Průměrná teplota vzduchu v teplém půlroce ve stanici Světlá Hora [$^{\circ}\text{C}$]
Ttep_MA-Žáry	Průměrná teplota vzduchu v teplém půlroce ve stanici Město Albrechtice-Žáry [$^{\circ}\text{C}$]
Sr	Průměrná roční výška sněhové pokrývky [cm]
Sr_Krnov	Průměrná roční výška sněhové pokrývky ve stanici Krnov [cm]
Sr_Světlá Hora	Průměrná roční výška sněhové pokrývky ve stanici Světlá Hora [cm]
Sr_MA-Žáry	Průměrná roční výška sněhové pokrývky ve stanici Město Albrechtice-Žáry [cm]
Smax_Krnov	Maximální roční výška sněhové pokrývky ve stanici Krnov [cm]
Smax_Světlá Hora	Maximální roční výška sněhové pokrývky ve stanici Světlá Hora [cm]
Smax_MA-Žáry	Maximální roční výška sněhové pokrývky ve stanici Město Albrechtice-Žáry [cm]
Sdny_Krnov	Počet dní se sněhovou pokrývkou za rok ve stanici Krnov
Sdny_Světlá Hora	Počet dní se sněhovou pokrývkou za rok ve stanici Světlá Hora
Sdny_MA-Žáry	Počet dní se sněhovou pokrývkou za rok ve stanici Město Albrechtice-Žáry

Příloha 15: Vysvětlivky zkratk použitých hydroklimatických veličin

(Zdroj: ČHMÚ)



Příloha 16: Poloha klimatologické stanice Světlá Hora
(Zdroj: ČHMÚ)

Příloha 17: Měsíční, sezónní a roční průtoky v profilu Opava-Krnov

Rok	Q _m [m ³ .s ⁻¹]												Q _r [m ³ .s ⁻¹]	Q _{chlád} [m ³ .s ⁻¹]	Q _{top} [m ³ .s ⁻¹]
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1953	5,13	2,73	4,02	5,77	5,69	6,89	6,50	2,77	1,61	1,02	1,12	0,84	3,67	5,04	2,31
1954	0,73	0,68	0,57	0,46	1,80	3,97	6,82	2,50	10,11	1,53	0,98	0,97	2,60	1,37	3,82
1955	1,03	2,07	3,62	5,05	4,81	6,25	6,46	3,13	4,26	4,02	2,63	1,33	3,72	3,80	3,64
1956	1,34	1,86	1,84	1,66	4,91	9,82	9,35	2,95	3,20	3,23	2,77	1,87	3,73	3,57	3,89
1957	3,19	4,49	3,10	3,55	3,76	3,43	2,18	1,35	6,57	2,32	1,74	1,63	3,11	3,58	2,63
1958	1,27	2,08	1,69	4,82	2,91	10,78	9,77	7,49	17,23	2,25	1,59	3,36	5,44	3,93	6,95
1959	2,87	4,17	2,81	1,60	3,18	3,06	3,38	2,64	6,54	7,16	1,95	1,00	3,36	2,95	3,78
1960	1,04	1,29	1,75	1,86	5,47	3,96	4,55	6,01	7,71	6,78	3,94	2,77	3,93	2,56	5,29
1961	1,86	2,67	1,24	1,87	2,11	4,04	2,10	3,47	1,58	1,71	1,18	1,10	2,08	2,30	1,86
1962	2,16	2,71	1,70	3,26	5,52	20,07	15,23	8,82	1,95	0,87	0,76	0,70	5,31	5,90	4,72
1963	2,45	1,37	0,80	0,70	5,00	9,93	8,06	4,16	1,95	1,07	3,48	2,02	3,41	3,38	3,45
1964	2,51	1,79	0,92	1,03	2,54	6,00	2,63	1,89	3,40	5,16	1,75	4,46	2,84	2,46	3,21
1965	5,74	4,46	2,22	2,28	9,34	12,19	11,84	18,96	3,77	2,23	1,56	1,38	6,33	6,04	6,62
1966	1,42	2,34	1,48	7,44	4,27	6,70	4,06	2,60	10,95	6,35	2,86	1,69	4,35	3,94	4,75
1967	2,18	3,35	1,83	5,74	10,72	8,01	8,42	4,52	4,44	4,74	7,63	2,52	5,34	5,30	5,38
1968	1,98	2,55	2,67	2,71	4,47	5,34	5,19	14,87	6,28	10,40	4,54	2,46	5,29	3,29	7,29
1969	4,01	2,38	1,82	2,18	3,19	7,54	3,72	2,20	2,28	1,52	1,42	0,96	2,77	3,52	2,02
1970	1,18	1,13	1,36	1,05	3,60	15,04	5,47	4,69	7,48	6,29	3,72	2,29	4,44	3,89	4,99
1971	5,46	3,39	3,40	4,37	6,34	9,31	4,66	5,56	6,36	1,82	1,22	1,30	4,43	5,38	3,49
1972	1,73	4,02	2,00	2,43	2,83	6,59	10,82	4,38	5,34	12,51	4,14	2,84	4,97	3,27	6,67
1973	2,46	2,98	1,74	2,03	5,34	10,12	10,21	3,14	3,25	1,91	1,23	1,19	3,80	4,11	3,49
1974	1,17	1,58	3,36	3,08	2,44	2,12	3,33	5,77	8,51	2,73	1,55	3,41	3,26	2,29	4,22
1975	3,03	10,91	6,94	1,93	7,19	6,55	6,37	4,81	9,55	4,45	2,68	3,20	5,63	6,09	5,18
1976	2,90	3,07	4,95	2,76	4,00	9,08	8,74	5,62	1,98	1,97	2,87	3,43	4,28	4,46	4,10
1977	3,92	6,02	2,98	9,12	8,92	7,01	10,77	4,25	3,25	25,98	7,27	3,97	7,79	6,33	9,25
1978	2,87	2,29	2,78	2,66	6,90	7,54	9,07	3,57	4,73	2,14	1,82	2,24	4,05	4,17	3,93
1979	1,82	2,51	3,42	1,48	10,30	8,16	6,68	5,03	2,92	2,06	2,09	1,77	4,02	4,62	3,43
1980	5,44	5,77	2,62	2,68	2,84	9,23	9,59	4,48	21,33	7,87	2,80	4,56	6,60	4,76	8,44
1981	3,57	2,39	1,75	1,99	8,95	3,56	2,58	2,54	3,04	3,98	3,97	9,20	3,96	3,70	4,22
1982	9,09	6,30	9,14	2,28	3,35	6,59	9,92	4,16	5,87	2,51	1,44	1,17	5,15	6,12	4,18
1983	1,16	1,57	3,33	2,48	5,41	7,79	7,09	3,57	2,49	1,70	1,23	1,66	3,29	3,62	2,96
1984	1,18	1,41	1,03	0,95	1,81	5,65	6,13	3,60	3,37	2,15	2,79	2,74	2,73	2,00	3,46
1985	3,62	2,67	1,30	1,11	4,84	7,09	3,96	3,37	2,98	14,51	3,59	2,03	4,26	3,44	5,07
1986	1,60	4,65	2,54	2,11	5,18	7,22	3,27	10,49	2,63	5,20	2,73	2,67	4,19	3,88	4,50
1987	2,09	1,97	3,57	5,12	2,50	8,62	5,62	9,40	3,04	2,57	1,86	2,33	4,06	3,98	4,14
1988	2,22	3,20	2,97	2,48	5,03	6,03	3,61	2,44	2,01	1,76	3,37	1,58	3,06	3,65	2,46
1989	1,88	3,57	2,97	2,46	3,42	3,35	4,66	3,61	2,62	3,13	5,75	2,40	3,32	2,94	3,69
1990	2,01	2,29	1,40	1,55	2,99	3,59	3,11	2,91	1,92	1,29	1,28	1,20	2,13	2,30	1,95
1991	1,49	1,67	2,63	1,45	2,59	3,05	7,97	3,83	5,60	8,31	1,93	1,58	3,51	2,15	4,87
1992	2,27	2,20	2,98	4,69	11,11	8,99	5,65	2,48	1,58	0,74	0,59	0,71	3,67	5,37	1,96
1993	0,89	1,35	2,10	1,98	6,71	11,43	4,17	1,82	1,26	0,82	1,04	1,68	2,94	4,08	1,80
1994	1,42	3,40	5,01	3,56	7,25	10,57	3,98	1,74	1,02	1,25	2,88	2,24	3,69	5,20	2,19
1995	1,73	1,94	3,47	7,23	3,81	8,41	8,41	8,84	5,51	1,65	2,33	1,88	4,60	4,43	4,77
1996	2,82	2,70	2,63	1,28	2,80	12,96	18,01	4,57	3,07	2,50	10,78	5,41	5,79	4,20	7,39
1997	5,87	2,56	1,67	3,21	4,44	4,26	5,89	3,55	39,04	3,83	1,91	1,90	6,51	3,67	9,35
1998	2,28	3,79	3,92	3,28	4,34	5,98	2,38	2,47	2,10	2,35	4,27	8,29	3,79	3,93	3,64
1999	6,00	3,08	2,23	2,79	7,58	6,11	3,12	4,54	4,78	2,01	1,76	1,45	3,79	4,63	2,94
2000	2,28	2,16	1,72	5,72	9,24	10,02	2,85	1,58	2,34	2,30	1,13	1,03	3,53	5,19	1,87
2001	1,90	1,59	2,58	2,79	4,29	5,21	3,17	2,63	10,44	4,58	6,38	3,67	4,10	3,06	5,14
2002	2,95	1,90	4,09	7,44	4,57	4,80	3,16	3,17	1,53	3,56	2,77	3,73	3,64	4,29	2,99
2003	3,40	2,24	2,30	1,34	3,83	5,04	4,31	2,03	1,46	1,02	0,83	1,50	2,44	3,03	1,86
2004	1,37	1,29	1,81	5,75	8,76	8,32	5,17	2,96	1,93	1,00	0,76	0,88	3,33	4,55	2,12
2005	1,86	1,71	2,20	1,39	6,38	7,97	4,71	2,14	2,22	2,63	1,38	0,87	2,95	3,58	2,33

(Zdroj: ČHMÚ)

Příloha 18: Měsíční, sezónní a roční průtoky v profilu Opavice-Krnov

Rok	Q _m [m ³ .s ⁻¹]												Q _r [m ³ .s ⁻¹]	Q _{chlad} [m ³ .s ⁻¹]	Q _{tep} [m ³ .s ⁻¹]
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1953	2,51	1,34	2,02	4,21	3,53	1,49	1,86	1,27	0,62	0,39	0,30	0,32	1,66	2,52	0,79
1954	0,37	0,31	0,28	0,24	0,64	1,78	1,47	0,61	4,37	0,57	0,40	0,33	0,95	0,60	1,29
1955	0,57	0,92	1,42	1,41	1,64	2,65	2,35	1,20	1,64	1,89	0,52	0,41	1,39	1,44	1,34
1956	0,21	0,91	0,78	0,58	3,02	4,32	2,40	0,71	0,83	1,69	0,89	0,66	1,41	1,63	1,19
1957	1,88	2,32	1,79	1,27	1,26	1,34	0,81	0,43	1,47	0,86	0,54	0,41	1,20	1,64	0,76
1958	0,41	1,11	0,59	1,35	1,60	6,24	1,57	1,89	4,04	0,23	0,32	0,49	1,65	1,88	1,43
1959	0,93	1,24	0,57	0,29	0,78	0,44	0,25	0,48	2,91	2,41	0,25	0,23	0,90	0,71	1,09
1960	0,42	0,82	1,25	1,13	2,14	0,62	1,31	1,44	1,69	1,75	1,15	0,45	1,18	1,06	1,30
1961	0,36	0,54	0,42	0,78	0,59	0,77	0,46	0,95	0,30	0,27	0,20	0,19	0,49	0,58	0,40
1962	0,65	0,84	0,68	0,97	1,34	5,16	4,01	2,38	0,40	0,29	0,15	0,22	1,43	1,61	1,24
1963	0,86	0,55	0,29	0,24	2,68	4,38	2,80	0,65	0,33	0,18	0,79	0,37	1,18	1,50	0,85
1964	0,36	0,38	0,17	0,24	1,46	2,90	0,86	0,45	1,13	2,20	0,35	1,61	1,01	0,92	1,10
1965	1,92	1,66	0,75	1,21	6,24	5,36	5,63	9,23	1,20	0,40	0,19	0,32	2,84	2,86	2,83
1966	0,41	0,44	0,43	3,47	1,64	2,05	1,22	0,82	5,60	3,30	1,23	0,51	1,76	1,41	2,11
1967	0,41	0,86	0,75	2,12	2,83	1,90	2,29	1,03	1,02	0,76	2,14	0,63	1,39	1,48	1,31
1968	0,31	0,52	0,94	1,06	1,46	0,95	1,30	7,80	3,51	3,74	1,83	0,41	1,99	0,87	3,10
1969	1,30	1,03	0,62	0,95	1,53	3,67	0,85	0,38	0,34	0,32	0,26	0,17	0,95	1,52	0,39
1970	0,15	0,16	0,39	0,33	2,11	6,81	0,91	1,63	3,34	2,84	0,94	0,41	1,67	1,66	1,68
1971	2,27	1,13	1,79	2,52	4,61	3,48	1,31	1,74	1,51	0,37	0,27	0,42	1,79	2,63	0,94
1972	0,69	2,63	0,82	1,39	1,24	2,73	3,49	0,68	0,80	3,72	0,72	0,64	1,63	1,58	1,68
1973	0,45	0,77	0,28	0,88	2,02	2,70	1,04	0,50	0,62	0,40	0,26	0,29	0,85	1,18	0,52
1974	0,32	0,46	0,87	0,66	0,37	0,24	1,25	2,11	2,28	0,56	0,28	1,38	0,90	0,49	1,31
1975	0,78	3,29	1,94	0,58	3,83	2,94	2,43	2,92	4,79	1,07	0,39	0,80	2,15	2,23	2,07
1976	0,57	1,11	2,44	1,39	2,01	2,22	1,67	1,24	0,36	0,52	0,87	1,32	1,31	1,62	1,00
1977	1,23	2,80	1,46	4,15	4,11	3,55	4,08	1,89	1,19	12,85	3,90	1,42	3,55	2,88	4,22
1978	1,35	1,26	1,16	1,35	2,94	1,99	2,08	1,14	1,93	0,66	0,50	0,70	1,42	1,67	1,17
1979	0,50	0,80	1,01	0,52	6,50	3,57	2,00	1,66	1,08	0,40	0,42	0,43	1,57	2,15	1,00
1980	1,93	1,73	1,07	1,33	1,33	5,72	2,21	0,72	10,74	2,28	0,55	1,21	2,57	2,18	2,95
1981	1,18	0,77	0,47	0,72	3,45	0,66	0,56	0,54	0,77	1,18	1,39	2,72	1,20	1,21	1,19
1982	3,53	2,26	3,94	0,53	1,13	1,54	1,86	1,57	1,46	0,50	0,32	0,17	1,57	2,16	0,98
1983	0,11	0,37	1,25	0,91	2,16	1,98	1,72	0,67	0,59	0,24	0,13	0,12	0,85	1,13	0,58
1984	0,12	0,18	0,13	0,18	0,65	1,09	1,41	0,91	0,75	0,44	0,45	0,78	0,59	0,39	0,79
1985	0,67	0,57	0,24	0,25	2,66	2,09	0,76	0,70	0,76	4,79	0,56	0,22	1,19	1,08	1,30
1986	0,24	2,38	1,21	0,81	1,07	1,59	0,71	4,87	0,66	1,54	0,62	0,30	1,33	1,22	1,45
1987	0,41	0,29	0,81	2,43	1,06	3,28	1,66	3,35	0,48	0,40	0,20	0,24	1,22	1,38	1,05
1988	0,48	1,14	0,68	0,98	2,15	2,19	0,55	0,56	0,65	0,60	1,52	0,34	0,99	1,27	0,70
1989	0,37	1,66	1,09	0,64	0,61	0,91	1,67	0,72	0,93	0,78	3,02	0,48	1,07	0,88	1,27
1990	0,31	0,52	0,29	0,40	0,43	1,17	1,06	0,86	0,46	0,16	0,16	0,09	0,49	0,52	0,46
1991	0,12	0,35	1,18	0,28	0,67	1,05	3,39	1,03	1,73	2,88	0,28	0,23	1,10	0,61	1,59
1992	0,75	1,07	1,80	2,34	4,05	2,05	0,48	0,63	0,41	0,10	0,04	0,11	1,15	2,01	0,30
1993	0,14	0,28	0,73	0,41	2,89	3,80	0,44	0,20	0,11	0,06	0,12	0,23	0,78	1,38	0,19
1994	0,38	0,59	1,14	0,92	1,73	3,45	0,69	0,22	0,06	0,08	0,69	0,63	0,88	1,37	0,40
1995	0,45	0,61	1,04	1,78	1,36	2,44	2,03	3,74	1,99	0,50	0,53	0,43	1,41	1,28	1,53
1996	1,11	1,15	1,45	0,37	1,73	6,31	5,26	0,74	0,63	0,75	4,92	1,41	2,15	2,02	2,28
1997	1,81	0,30	0,16	1,03	1,43	1,38	1,09	0,92	15,78	0,78	0,35	0,22	2,10	1,02	3,19
1998	0,93	1,78	0,99	1,70	1,63	2,23	0,62	0,43	0,41	0,47	0,75	2,23	1,18	1,54	0,82
1999	1,35	1,24	0,69	1,19	3,45	1,68	0,93	2,94	2,31	0,39	0,44	0,24	1,40	1,60	1,21
2000	0,73	1,11	0,36	2,42	4,11	2,01	0,32	0,22	0,98	0,85	0,29	0,28	1,14	1,79	0,49
2001	0,73	0,59	1,06	1,03	2,01	2,02	0,65	0,54	5,91	1,37	2,32	0,91	1,60	1,24	1,95
2002	0,42	0,45	2,03	2,25	0,75	0,86	0,62	1,22	0,29	1,63	1,09	1,58	1,10	1,13	1,07
2003	1,13	0,80	1,10	0,47	1,87	1,77	1,16	0,40	0,31	0,12	0,11	0,24	0,79	1,19	0,39
2004	0,21	0,18	0,26	2,15	6,11	2,97	1,37	0,82	0,47	0,16	0,10	0,11	1,24	1,98	0,51
2005	0,41	0,45	0,69	0,29	5,29	2,33	1,30	0,35	0,39	0,67	0,22	0,12	1,04	1,58	0,51

(Zdroj: ČHMÚ)

Příloha 19: Měsíční, sezónní a roční výšky srážek v povodí Opavy

(Zdroj: ČHMÚ)

Rok	H _m [mm]												H _r [mm]	H _{chlad} [mm]	H _{tep} [mm]
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1962	58	76	58	65	75	62	157	51	86	59	65	49	862	394	468
1963	89	57	60	32	40	41	132	102	59	107	108	42	871	321	550
1964	72	10	12	34	59	45	43	130	91	168	24	148	834	231	603
1965	73	44	55	78	42	117	160	161	123	43	71	7	975	410	565
1966	44	45	54	66	58	80	64	122	224	117	29	43	946	347	599
1967	79	76	41	53	50	71	87	99	127	111	129	35	957	371	587
1968	47	61	55	29	37	28	142	142	180	177	68	27	993	257	736
1969	63	12	28	50	69	23	67	80	68	81	22	26	588	245	343
1970	77	41	24	70	44	77	43	120	177	144	23	54	894	332	562
1971	96	62	32	66	64	41	90	131	73	73	43	39	811	361	450
1972	84	47	35	20	25	110	129	129	134	156	64	20	953	321	631
1973	54	4	17	76	32	87	80	87	125	26	63	41	693	269	424
1974	38	57	40	34	8	27	116	119	147	41	45	138	811	204	607
1975	46	104	25	33	84	43	108	122	158	83	27	98	931	335	596
1976	57	36	126	5	50	31	135	52	83	78	90	68	810	304	505
1977	83	58	61	83	45	57	134	91	148	262	113	21	1156	387	769
1978	95	48	35	24	27	82	106	64	93	84	77	57	793	311	482
1979	44	56	53	49	59	65	48	174	49	78	70	40	787	328	459
1980	95	61	41	32	36	108	55	95	329	45	61	85	1043	374	669
1981	43	21	48	40	57	35	54	106	113	93	111	141	860	243	617
1982	92	102	57	10	26	60	95	126	122	84	23	22	819	347	472
1983	26	70	62	56	45	63	146	88	58	40	56	30	741	323	418
1984	34	43	46	56	22	40	124	84	80	49	109	57	743	240	503
1985	68	26	32	57	29	60	54	91	110	213	24	21	784	271	513
1986	86	39	67	28	46	34	108	142	58	173	30	50	861	301	560
1987	35	99	77	31	32	44	90	139	78	78	58	50	812	319	493
1988	64	40	39	70	67	17	53	93	98	112	88	26	768	297	471
1989	50	74	17	21	28	88	80	112	72	131	61	31	767	279	488
1990	38	29	21	59	17	91	50	122	32	44	86	40	629	255	374
1991	58	64	18	22	16	63	108	116	144	105	47	34	795	241	554
1992	80	86	34	69	114	42	31	97	74	31	32	104	795	425	370
1993	29	69	36	62	77	29	49	116	65	42	87	60	720	301	419
1994	37	97	54	22	85	101	74	35	47	153	91	42	838	396	442
1995	32	47	82	36	66	78	99	165	90	106	89	9	901	342	558
1996	80	50	23	46	67	62	148	110	59	121	173	83	1023	328	695
1997	59	20	33	45	25	66	105	95	458	56	27	56	1045	248	797
1998	76	49	55	26	77	39	51	116	106	73	133	120	920	321	599
1999	55	21	26	61	47	74	50	157	82	70	86	41	772	285	487
2000	80	34	66	36	128	35	59	79	156	39	56	33	802	381	422
2001	84	33	44	46	41	60	72	109	217	82	136	24	949	309	641
2002	61	72	27	63	46	45	59	117	70	139	97	82	879	315	564
2003	45	47	49	24	37	50	94	45	117	43	41	85	677	252	425
2004	35	83	55	86	78	73	56	102	68	57	28	52	775	412	363
2005	93	27	85	79	44	40	98	52	137	87	26	9	778	368	409
2006	67	103	29	49	54	90	72	135	71	180	27	22	901	392	508

Příloha 20: Měsíční, sezónní a roční výšky srážek v povodí Opavice

(Zdroj: ČHMÚ)

Rok	H _m [mm]												H _r [mm]	H _{chlad} [mm]	H _{tep} [mm]
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1962	58	56	54	50	55	59	164	54	86	58	68	51	813	332	481
1963	76	38	51	32	38	39	123	81	54	99	108	42	780	273	507
1964	47	10	11	32	63	46	34	127	97	166	26	128	788	210	579
1965	62	44	58	66	32	117	163	154	102	38	56	5	897	379	518
1966	37	34	40	55	52	79	58	129	226	119	26	33	889	297	591
1967	70	50	38	44	45	72	72	102	88	100	111	27	820	319	501
1968	44	48	51	28	33	30	156	157	200	170	54	27	998	234	765
1969	57	12	30	51	63	12	61	70	67	80	20	28	551	226	326
1970	64	43	24	62	39	75	39	104	173	144	23	44	835	308	527
1971	86	54	26	67	66	40	89	119	64	77	46	37	771	339	431
1972	75	41	34	23	17	110	117	134	108	157	57	14	887	300	587
1973	44	5	18	66	25	88	79	90	122	26	60	27	650	246	404
1974	23	34	31	25	5	30	122	115	135	41	44	126	731	149	582
1975	40	72	23	31	80	43	117	136	140	73	32	96	883	289	595
1976	53	33	105	7	50	27	118	48	91	78	86	62	756	274	482
1977	76	53	57	82	46	56	144	86	137	265	111	18	1131	369	762
1978	65	40	24	23	22	68	109	63	92	79	67	52	703	242	462
1979	45	32	52	36	58	65	49	156	41	83	67	41	725	288	437
1980	74	38	31	23	33	115	51	89	313	47	53	77	945	314	631
1981	39	15	28	32	47	30	53	99	113	96	111	102	764	190	574
1982	79	86	45	8	16	43	87	139	101	88	21	14	725	276	449
1983	25	49	40	47	43	52	139	81	55	31	56	22	639	255	384
1984	20	35	23	35	20	37	108	85	77	55	88	55	639	170	468
1985	48	27	22	47	29	49	60	90	101	202	24	21	722	222	500
1986	75	39	45	29	34	29	113	120	54	158	28	30	754	251	503
1987	31	82	68	30	20	41	99	121	68	80	50	44	733	272	461
1988	57	42	30	64	51	15	53	86	95	123	82	20	718	259	459
1989	55	52	13	12	21	86	59	107	85	125	66	27	707	239	467
1990	30	12	13	30	13	87	62	119	28	46	76	27	545	186	359
1991	47	53	11	19	15	65	113	102	123	106	52	27	732	210	523
1992	72	64	33	51	86	37	29	89	61	39	27	87	676	343	333
1993	17	69	21	52	66	26	55	96	45	34	77	56	615	251	364
1994	36	57	33	18	60	97	64	30	30	137	91	40	693	301	392
1995	31	30	47	31	52	76	102	158	88	98	78	10	800	266	534
1996	70	42	20	42	57	66	133	93	47	121	149	73	912	297	615
1997	48	21	30	25	25	60	112	69	437	35	30	49	941	208	733
1998	80	44	49	25	65	46	45	109	92	68	115	94	831	309	522
1999	44	18	24	52	42	68	61	153	89	68	78	33	730	248	481
2000	86	21	49	29	103	34	62	63	163	41	63	32	746	322	424
2001	78	28	48	45	33	55	67	90	218	62	125	23	872	287	585
2002	39	58	15	30	37	41	76	102	70	120	98	66	752	221	531
2003	38	44	27	16	34	42	107	36	118	31	39	73	604	201	403
2004	31	58	42	81	79	67	58	105	69	54	26	50	720	358	362
2005	80	22	69	77	34	43	104	47	134	94	25	7	734	324	410
2006	64	107	31	50	50	83	63	128	56	172	19	20	842	385	457

Příloha 21: Měsíční, sezónní a roční teplota vzduchu na stanici MA-Žáry (Zdroj: ČHMÚ)

Rok	T _m [°C]												T _r [°C]	T _{chlad} [°C]	T _{tep} [°C]
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1962	3,6	-3,1	-0,8	-2,6	-1,6	9,0	9,4	13,5	14,9	16,9	12,0	8,5	6,6	0,8	12,5
1963	2,9	-5,2	-9,4	-6,6	0,4	7,6	12,0	15,8	18,4	17,3	14,2	7,8	6,3	-1,7	14,3
1964	6,9	-4,2	-3,6	-2,3	-2,4	7,7	12,6	17,3	17,2	14,9	13,0	7,0	7,0	0,4	13,7
1965	3,5	-1,4	-1,0	-5,5	1,3	5,5	9,4	14,8	15,2	15,0	14,2	7,7	6,6	0,4	12,7
1966	-0,2	0,0	-5,6	2,9	1,7	8,7	12,2	15,8	16,0	15,6	12,4	11,6	7,6	1,3	13,9
1967	2,1	-0,6	-2,8	0,0	4,3	6,1	12,5	15,1	18,3	16,4	15,0	11,3	8,1	1,5	14,8
1968	3,6	-1,6	-3,3	-0,1	3,2	8,5	10,8	16,1	15,5	15,9	12,9	8,4	7,5	1,7	13,3
1969	3,9	-3,8	-3,4	-2,8	-2,1	6,4	13,9	14,9	17,5	15,6	13,6	9,5	6,9	-0,3	14,2
1970	4,5	-7,0	-4,4	-3,6	0,1	5,6	10,7	16,0	16,4	16,0	11,9	7,5	6,1	-0,8	13,1
1971	4,9	-1,0	-1,0	-0,3	-0,6	7,6	14,0	13,8	17,3	18,5	10,7	8,2	7,7	1,6	13,8
1972	1,9	2,4	-4,6	1,5	4,5	6,2	11,6	15,2	17,8	15,3	10,5	5,5	7,3	2,0	12,7
1973	3,6	0,4	-1,3	0,0	3,2	4,8	11,8	14,4	16,5	17,6	14,0	6,8	7,7	1,8	13,5
1974	1,5	-0,7	0,6	2,2	4,8	6,9	10,4	13,1	15,1	17,5	12,8	4,4	7,4	2,6	12,2
1975	3,4	2,1	2,6	-1,0	3,5	6,1	12,3	14,4	17,4	17,2	16,3	7,7	8,5	2,8	14,2
1976	1,6	0,2	-2,1	-1,0	-1,2	6,2	11,9	15,1	17,7	14,6	11,5	9,4	7,0	0,6	13,4
1977	4,2	-1,8	-1,1	0,9	5,5	5,1	11,3	16,0	15,7	15,2	10,2	10,3	7,6	2,1	13,1
1978	3,9	-1,1	-1,1	-2,5	4,1	5,1	10,5	14,0	14,8	14,7	11,1	9,0	6,9	1,4	12,4
1979	3,3	-1,8	-5,2	-2,7	2,8	5,2	13,2	17,1	14,4	15,6	12,8	6,6	6,8	0,3	13,3
1980	2,5	2,9	-4,7	0,0	0,0	4,2	8,8	14,3	14,9	15,6	12,4	7,4	6,5	0,8	12,2
1981	0,8	-0,7	-3,0	-1,6	5,5	5,9	12,8	15,8	16,1	16,0	13,4	8,2	7,4	1,2	13,7
1982	2,5	-2,9	-2,5	-1,5	3,5	4,7	12,6	15,4	17,5	17,7	15,9	9,3	7,7	0,6	14,7
1983	4,9	0,4	2,3	-3,2	3,5	9,0	13,2	15,3	19,5	17,9	13,8	8,7	8,8	2,8	14,7
1984	2,3	0,2	-1,1	-2,1	0,4	6,7	11,3	13,3	14,7	16,8	11,8	9,9	7,0	1,1	13,0
1985	3,8	-1,4	-6,6	-6,5	2,0	7,0	13,7	12,6	16,6	16,4	12,8	8,2	6,6	-0,3	13,4
1986	-0,7	2,5	-2,1	-8,7	1,6	8,6	14,1	14,6	16,1	16,0	10,7	9,0	6,8	0,2	13,4
1987	4,8	0,0	-9,2	-0,5	-3,0	7,0	10,2	14,7	16,9	14,5	14,0	8,8	6,5	-0,2	13,2
1988	3,8	0,4	1,9	0,4	0,3	7,0	13,3	14,8	17,3	17,0	12,9	8,4	8,1	2,3	14,0
1989	-0,3	0,4	1,3	2,7	5,5	7,9	12,5	13,7	16,7	16,9	13,8	9,9	8,4	2,9	13,9
1990	1,7	1,5	1,3	4,7	6,3	6,2	12,9	14,9	16,4	17,9	10,5	9,7	8,7	3,6	13,7
1991	3,7	-1,4	-0,4	-4,0	4,8	6,4	8,4	13,9	18,2	16,9	14,2	7,0	7,3	1,5	13,1
1992	2,6	-1,8	0,1	1,3	3,0	7,3	12,4	17,1	19,1	21,7	13,5	6,0	8,5	2,1	15,0
1993	3,5	-1,2	0,0	-1,4	1,0	8,4	14,8	14,9	16,0	16,6	12,2	7,8	7,7	1,7	13,7
1994	-0,4	1,2	2,0	-2,0	4,8	7,6	11,9	15,8	21,3	18,0	13,5	6,5	8,4	2,2	14,5
1995	4,0	1,1	-1,9	2,7	1,7	7,3	11,4	14,5	19,5	16,8	11,8	10,7	8,3	2,5	14,1
1996	0,5	-3,7	-5,1	-4,9	-2,1	7,0	12,4	15,5	15,5	16,3	8,9	8,9	5,8	-1,4	12,9
1997	4,7	-4,8	-3,5	1,5	3,4	4,0	12,3	15,8	15,9	16,9	13,2	6,1	7,1	0,9	13,4
1998	2,8	0,3	0,7	3,9	1,4	9,5	13,0	16,5	16,8	16,4	12,5	7,1	8,4	3,1	13,7
1999	-1,1	-1,9	0,7	-1,5	4,1	8,9	12,6	15,1	18,4	16,4	16,1	8,0	8,0	1,5	14,4
2000	1,6	-0,6	-1,9	2,1	3,1	11,2	14,6	16,7	14,8	18,0	12,1	12,1	8,7	2,6	14,7
2001	6,9	1,7	-0,8	0,2	2,3	6,7	13,9	13,5	17,7	18,1	11,0	11,9	8,6	2,8	14,4
2002	1,8	-4,1	-0,2	3,7	4,5	7,3	15,5	16,7	18,8	18,9	11,8	6,4	8,4	2,2	14,7
2003	5,4	-4,2	-2,6	-3,9	2,7	6,7	14,9	18,5	18,2	19,8	14,2	5,0	7,9	0,7	15,1
2004	5,6	0,4	-4,0	-0,3	2,4	8,2	10,7	14,7	16,7	18,3	13,5	10,8	8,1	2,1	14,1
2005	3,4	0,3	-0,2	-3,3	0,9	8,9	12,8	15,8	18,1	16,3	14,7	9,9	8,1	1,7	14,6
2006	2,2	-1,4	-4,7	-3,2	-0,9	7,8	12,5	16,5	21,4	15,8	16,1	11,2	7,8	0,0	15,6

Příloha 22: Měsíční, sezónní a roční teplota vzduchu na stanici Červená (Zdroj: ČHMÚ)

Rok	T _m [°C]												T _r [°C]	T _{chlad} [°C]	T _{tep} [°C]
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1962	1,0	-5,4	-3,8	-5,2	-3,4	7,2	7,6	11,0	13,0	15,5	10,4	7,5	4,6	-1,6	10,8
1963	1,1	-6,7	-11,8	-8,1	-2,5	6,0	10,4	14,0	16,7	15,5	12,9	6,0	4,5	-3,7	12,6
1964	5,0	-6,8	-7,0	-5,4	-4,5	5,9	10,8	15,6	15,9	13,2	10,9	5,4	4,9	-2,1	12,0
1965	1,1	-4,2	-3,6	-7,9	-0,9	3,5	7,6	13,2	13,5	13,3	12,0	6,1	4,5	-2,0	11,0
1966	-2,3	-2,8	-8,4	1,2	-0,5	7,5	11,0	14,8	14,5	13,8	10,9	10,0	5,8	-0,9	12,5
1967	0,0	-2,9	-5,7	-2,3	1,6	4,4	10,8	13,4	17,1	15,0	13,4	8,8	6,1	-0,8	13,1
1968	1,3	-4,2	-6,2	-2,0	1,1	7,1	9,5	15,1	14,2	14,2	11,4	6,4	5,7	-0,5	11,8
1969	2,0	-5,5	-5,8	-4,5	-3,7	5,0	12,8	13,2	15,6	13,7	12,0	7,7	5,2	-2,1	12,5
1970	2,1	-7,9	-6,1	-5,9	-1,8	3,9	9,0	14,2	14,7	14,7	10,3	5,3	4,4	-2,6	11,4
1971	2,6	-3,4	-3,2	-2,5	-2,5	5,9	12,6	12,2	15,9	17,1	9,0	5,8	5,8	-0,5	12,1
1972	-0,2	-0,2	-6,0	-0,4	2,9	4,5	10,0	13,8	16,2	14,1	8,9	3,8	5,6	0,1	11,1
1973	1,1	-2,3	-3,2	-2,7	1,2	3,2	10,6	13,0	14,8	16,5	12,6	4,7	5,8	-0,5	12,0
1974	-1,4	-3,3	-1,8	0,6	3,4	5,2	8,9	11,4	13,6	16,4	11,0	2,4	5,5	0,5	10,6
1975	1,3	-0,2	-0,2	-2,8	1,9	4,5	11,1	12,8	15,8	15,6	14,5	6,3	6,7	0,8	12,7
1976	-0,6	-2,8	-4,5	-3,2	-3,0	5,0	10,5	13,5	16,4	13,0	9,7	7,8	5,2	-1,5	11,8
1977	2,3	-3,9	-3,6	-1,4	3,6	3,4	9,6	14,6	14,7	14,2	8,5	8,5	5,9	0,1	11,7
1978	1,6	-4,1	-3,4	-4,9	1,7	3,4	8,8	12,7	13,4	12,7	9,3	6,9	4,8	-1,0	10,6
1979	-0,7	-3,3	-7,5	-4,1	1,3	3,9	11,7	16,0	12,8	14,2	11,3	5,1	5,1	-1,7	11,9
1980	0,5	0,3	-7,2	-1,8	-1,6	2,7	7,2	12,4	13,1	14,0	10,5	5,1	4,6	-1,2	10,4
1981	-1,4	-3,8	-5,7	-3,9	3,5	4,3	11,4	14,2	14,5	14,6	12,0	6,4	5,5	-1,2	12,2
1982	0,1	-4,9	-6,3	-4,3	1,5	2,6	11,1	14,1	16,1	16,0	14,7	7,7	5,7	-1,9	13,3
1983	2,2	-1,7	-0,7	-5,2	1,4	7,3	12,0	13,8	18,1	16,3	12,0	6,1	6,8	0,6	13,1
1984	-0,5	-2,7	-3,6	-4,1	-1,1	4,9	9,7	11,5	12,8	15,2	10,0	7,6	5,0	-1,2	11,1
1985	1,8	-3,3	-8,8	-8,7	0,1	5,1	11,8	10,5	15,3	14,8	10,4	6,1	4,6	-2,3	11,5
1986	-2,2	-0,1	-4,4	-9,9	0,0	7,0	12,6	13,3	14,9	14,8	9,5	7,0	5,2	-1,6	12,0
1987	2,4	-3,5	-10,7	-2,9	-4,8	5,2	8,3	13,3	15,9	12,8	12,7	7,1	4,7	-2,4	11,7
1988	1,8	-2,2	-0,8	-1,7	-1,5	5,6	11,8	13,6	16,5	15,8	11,1	6,4	6,4	0,2	12,5
1989	-3,2	-2,2	-2,5	0,0	3,8	6,6	11,0	12,2	15,5	15,3	12,4	7,9	6,4	0,4	12,4
1990	-0,1	-0,6	-2,5	2,0	4,2	4,6	11,6	13,3	14,4	16,2	8,1	7,2	6,5	1,3	11,8
1991	1,4	-3,3	-2,7	-6,2	2,9	4,4	6,8	12,6	16,8	15,3	12,7	5,4	5,5	-0,6	11,6
1992	0,9	-4,5	-2,3	-0,9	1,1	5,3	10,5	15,0	17,3	20,4	11,4	3,6	6,5	-0,1	13,0
1993	0,6	-3,7	-3,0	-3,6	-1,2	6,8	13,8	13,2	14,1	15,1	10,4	6,2	5,7	-0,7	12,1
1994	-2,5	-1,3	-0,5	-3,8	2,7	6,0	10,3	14,2	19,9	16,7	12,6	4,6	6,6	0,1	13,1
1995	1,7	-1,8	-4,4	0,3	-0,7	5,5	10,0	13,2	18,6	15,5	10,1	8,9	6,4	0,1	12,7
1996	-1,9	-5,0	-6,5	-7,3	-3,9	5,5	11,1	14,2	14,0	15,2	7,0	7,0	4,1	-3,2	11,4
1997	3,0	-6,6	-6,0	-1,2	1,3	2,4	11,4	14,9	14,6	16,6	11,7	4,0	5,5	-1,2	12,2
1998	1,3	-1,6	-1,8	1,2	-0,3	7,9	11,5	15,2	15,7	15,6	10,9	5,5	6,8	1,1	12,4
1999	-1,9	-4,7	-2,9	-4,0	2,2	7,3	11,4	13,5	16,8	15,3	14,7	6,3	6,2	-0,7	13,0
2000	-0,3	-3,0	-5,2	-0,8	1,0	9,8	13,4	15,8	13,6	17,0	10,3	10,1	6,8	0,3	13,4
2001	4,9	-1,2	-2,9	-1,7	0,6	4,9	12,1	11,9	16,2	16,8	8,9	9,6	6,7	0,8	12,6
2002	-0,7	-6,5	-2,9	1,1	2,4	5,3	14,1	15,2	17,3	17,6	10,5	4,5	6,5	-0,2	13,2
2003	3,6	-6,2	-5,2	-5,9	1,4	5,2	13,5	17,3	16,7	18,8	12,6	2,3	6,2	-1,2	13,5
2004	3,6	-2,3	-6,1	-2,5	0,8	6,7	9,6	13,7	15,1	16,2	11,3	7,8	6,2	0,0	12,3
2005	0,9	-2,9	-3,2	-5,7	-1,5	6,9	11,3	13,7	16,3	14,3	12,5	7,6	5,9	-0,9	12,6
2006	0,3	-3,4	-6,6	-4,7	-1,9	7,1	11,2	15,1	20,6	13,6	14,3	8,8	6,2	-1,5	13,9

Příloha 23: Měsíční, sezónní a roční teplota vzduchu na stanici Praděd

Rok	T _m [°C]												T _r [°C]	T _{chlad} [°C]	T _{tep} [°C]
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1962	-1,4	-7,9	-6,3	-9,1	-8,4	1,5	2,0	5,7	7,5	9,7	5,0	4,0	0,2	-5,3	5,7
1963	-2,6	-8,8	-14,0	-11,2	-5,3	0,5	5,9	8,5	10,9	10,0	7,7	1,3	0,2	-6,9	7,4
1964	0,6	-8,7	-7,2	-8,6	-6,9	1,0	5,1	10,5	10,2	8,2	5,9	1,6	1,0	-5,0	6,9
1965	-2,4	-5,7	-6,7	-12,3	-5,2	-1,2	2,2	7,8	8,1	7,6	6,9	3,2	0,2	-5,6	6,0
1966	-5,6	-6,2	-10,0	-1,9	-5,3	1,7	5,2	9,0	9,1	8,8	5,9	5,6	1,4	-4,6	7,3
1967	-4,1	-6,4	-8,3	-6,4	-3,2	-1,0	5,3	7,7	11,3	9,6	8,7	5,0	1,5	-4,9	7,9
1968	-2,0	-7,6	-9,6	-6,1	-4,1	1,6	3,7	9,3	8,4	9,0	6,9	3,1	1,1	-4,6	6,7
1969	-0,7	-6,3	-6,1	-8,4	-7,2	-0,5	7,1	7,5	10,6	8,5	6,7	4,7	1,3	-4,9	7,5
1970	-2,4	-9,7	-8,0	-9,7	-6,3	-2,0	3,0	9,0	9,2	9,7	5,1	1,6	0,0	-6,4	6,3
1971	-0,4	-5,8	-4,8	-6,7	-7,2	0,4	7,3	6,5	10,4	11,6	4,0	1,8	1,4	-4,1	6,9
1972	-3,4	-3,0	-8,1	-3,6	-2,1	-0,7	4,8	8,5	11,2	9,1	3,7	-0,2	1,4	-3,5	6,2
1973	-2,7	-2,9	-5,4	-6,5	-3,8	-2,6	4,9	7,6	9,4	10,9	7,6	0,3	1,4	-4,0	6,8
1974	-5,1	-6,8	-4,2	-3,5	-1,1	-0,5	3,4	6,1	8,0	11,5	6,4	-2,6	1,0	-3,5	5,5
1975	-3,1	-3,8	-3,9	-5,7	-3,0	-1,1	5,8	7,7	10,7	10,6	9,9	2,8	2,2	-3,4	7,9
1976	-3,7	-5,6	-8,5	-5,5	-8,1	-0,5	5,0	8,0	11,0	7,5	5,3	5,0	0,8	-5,3	7,0
1977	-2,0	-7,3	-6,3	-4,8	-1,3	-2,2	4,5	8,9	8,5	9,2	3,6	5,4	1,4	-4,0	6,7
1978	-2,7	-5,2	-6,9	-8,1	-3,2	-1,6	3,3	6,8	7,5	7,5	4,1	2,9	0,4	-4,6	5,4
1979	0,5	-5,5	-9,8	-7,3	-3,4	-1,5	5,8	10,7	6,8	8,9	7,1	0,9	1,1	-4,5	6,7
1980	-3,0	-3,5	-8,7	-4,8	-5,6	-2,6	1,3	6,8	7,7	8,9	5,9	0,7	0,3	-4,7	5,2
1981	-5,0	-7,5	-8,7	-7,4	-1,3	-1,2	5,4	8,6	8,9	9,1	7,1	1,3	0,8	-5,2	6,7
1982	-3,9	-8,8	-6,8	-6,8	-3,8	-3,4	5,2	8,4	10,4	10,3	9,7	3,6	1,2	-5,6	7,9
1983	-0,6	-4,4	-4,3	-9,6	-3,7	1,6	6,4	8,1	12,1	10,5	6,7	1,7	2,0	-3,5	7,6
1984	-3,6	-5,8	-7,6	-8,4	-6,7	-0,8	4,1	5,6	7,3	9,6	5,3	3,3	0,2	-5,5	5,9
1985	-0,3	-5,6	-11,5	-12,3	-4,0	-0,7	6,2	5,0	9,6	9,7	5,6	3,0	0,4	-5,7	6,5
1986	-6,1	-2,7	-8,3	-12,2	-3,8	1,5	7,0	7,5	8,7	9,4	4,7	2,6	0,7	-5,3	6,7
1987	-0,9	-5,7	-11,3	-5,1	-9,7	0,3	3,3	7,8	10,4	7,6	7,9	2,5	0,6	-5,4	6,6
1988	-2,0	-4,8	-3,7	-6,4	-6,5	-0,8	6,0	7,8	10,5	10,1	5,9	2,6	1,6	-4,0	7,2
1989	-5,7	-5,3	-2,7	-2,4	-1,4	1,4	5,2	7,0	9,8	9,9	7,4	3,4	2,2	-2,7	7,1
1990	-3,2	-3,7	-3,9	-2,0	-0,8	-0,9	6,1	7,8	9,0	11,2	3,3	3,5	2,2	-2,4	6,8
1991	-2,4	-7,0	-5,1	-9,5	-0,9	-1,1	0,9	6,8	11,2	9,6	7,2	0,7	0,9	-4,3	6,1
1992	-2,1	-5,8	-4,9	-4,7	-4,0	-1,1	5,1	9,6	11,3	14,2	6,2	-0,9	1,9	-3,8	7,6
1993	-3,2	-4,0	-5,8	-5,4	-5,7	1,2	8,6	7,4	8,3	9,3	5,3	3,1	1,6	-3,8	7,0
1994	-4,7	-5,1	-4,6	-7,1	-2,4	0,3	4,5	8,2	14,0	10,9	7,5	0,4	1,8	-3,9	7,6
1995	-1,1	-4,0	-8,0	-4,3	-5,6	-0,3	4,5	7,6	13,0	10,0	5,1	5,7	1,9	-3,9	7,7
1996	-3,5	-7,4	-6,7	-9,9	-7,6	0,2	6,2	8,8	8,0	9,9	2,4	2,5	0,2	-5,8	6,3
1997	-1,5	-7,7	-4,2	-5,1	-3,9	-3,7	5,6	8,6	9,1	11,3	6,8	-0,3	1,3	-4,4	6,9

(Zdroj: ČHMÚ)

Příloha 24: Roční výška teploty vzduchu a sněhové pokrývky v povodí (Zdroj: ČHMÚ)

Rok	Opava		Opavice	
	T _r [°C]	S _r [cm]	T _r [°C]	S _r [cm]
1962	5,2	32,1	6,4	17,7
1963	4,7	48,8	6,0	30,8
1964	5,4	12,3	6,7	7,6
1965	5,0	46,7	6,3	32,5
1966	6,1	29,8	7,3	15,5
1967	6,5	46,7	7,9	21,2
1968	6,0	28,8	7,2	14,4
1969	5,6	20,7	6,7	12,3
1970	4,8	41,7	5,9	28,1
1971	6,1	27,1	7,4	19,5
1972	5,9	20,4	7,1	12,6
1973	6,1	23,0	7,4	12,1
1974	5,8	23,9	7,1	12,7
1975	6,9	30,6	8,3	13,3
1976	5,4	38,4	6,7	19,8
1977	6,1	30,0	7,4	15,6
1978	5,2	26,4	6,6	14,1
1979	5,3	37,9	6,5	25,3
1980	5,0	24,6	6,3	13,5
1981	5,8	21,7	7,2	12,9
1982	5,9	37,3	7,4	19,8
1983	7,0	32,9	8,5	20,2
1984	5,3	26,2	6,7	13,1
1985	4,9	24,0	6,2	17,7
1986	5,3	27,9	6,5	17,9
1987	5,0	43,2	6,3	28,4
1988	6,5	25,1	7,9	14,8
1989	6,7	20,6	8,1	11,0
1990	6,8	10,8	8,3	8,8
1991	5,7	15,0	7,1	10,9
1992	6,7	35,3	8,3	16,3
1993	6,0	24,9	7,5	16,9
1994	6,7	24,1	8,1	10,7
1995	6,6	26,0	7,9	12,5
1996	4,4	31,0	5,5	15,8
1997	5,3	18,1	6,7	13,4
1998	6,6	6,6	8,1	6,4
1999	6,4	14,0	7,7	11,1
2000	6,7	15,3	8,3	9,5
2001	6,9	8,2	8,3	7,2
2002	6,6	22,9	8,2	17,7
2003	6,1	12,4	7,6	7,4
2004	6,3	21,7	7,8	13,7
2005	6,2	31,7	7,8	26,7
2006	5,9	49,4	7,4	33,9

Rok	S _m [den]						S _r [den]	S _m [cm]						S _r [cm]
	11	12	1	2	3	4		11	12	1	2	3	4	
1962	2	24	9	28	26	0	89	19,0	13,1	12,6	21,8	9,5	0,0	14,9
1963	11	30	31	28	25	2	127	4,5	10,8	35,5	50,0	21,0	1,0	26,8
1964	0	14	11	22	12	1	60	0,0	7,6	5,2	9,4	6,4	2,0	7,5
1965	2	14	31	28	18	0	93	4,0	10,9	25,8	38,2	31,8	0,0	28,0
1966	16	19	28	11	8	0	82	10,3	3,9	16,1	5,4	3,8	0,0	9,5
1967	20	23	31	18	4	5	101	13,0	13,6	16,8	6,3	4,5	3,8	12,3
1968	0	23	21	9	16	3	72	0,0	6,6	11,7	7,9	10,5	1,7	8,9
1969	3	11	26	28	22	6	96	8,0	2,5	6,5	10,6	15,3	4,0	9,1
1970	5	31	28	26	28	6	124	22,4	26,3	12,6	19,5	35,3	20,8	23,4
1971	3	17	23	11	19	0	73	2,3	11,4	22,6	11,0	24,5	0,0	17,9
1972	13	5	30	14	4	2	68	13,8	4,0	9,2	11,8	1,5	8,0	9,8
1973	7	5	13	17	16	4	62	12,4	3,0	3,5	10,3	8,7	16,5	8,5
1974	7	21	2	5	2	0	37	2,0	15,2	4,5	3,8	1,5	0,0	9,9
1975	3	15	4	20	6	5	53	14,7	4,7	3,3	7,7	5,3	7,6	6,6
1976	10	11	25	26	20	2	94	16,1	8,9	13,9	17,3	10,5	1,5	13,5
1977	8	16	27	11	6	9	77	8,1	8,4	13,2	3,6	9,2	16,7	10,4
1978	4	17	31	24	2	5	83	4,3	9,3	10,1	11,5	2,0	15,4	10,2
1979	4	20	31	28	17	4	104	27,8	19,3	21,1	26,0	17,8	11,3	21,4
1980	2	9	30	17	20	12	90	5,5	4,6	13,7	4,9	6,7	16,1	9,7
1981	15	14	27	24	8	3	91	8,7	6,6	12,1	11,5	11,5	2,0	10,2
1982	17	31	19	12	2	5	86	9,6	27,1	6,3	3,2	1,0	2,4	13,7
1983	0	14	15	26	11	2	68	0,0	12,6	11,5	22,8	11,7	2,0	15,8
1984	14	19	22	29	17	2	103	2,1	10,4	8,9	12,9	4,4	2,0	8,5
1985	8	10	31	28	22	2	101	6,3	7,6	19,0	23,8	11,4	1,5	16,2
1986	18	8	25	28	13	2	94	26,3	7,8	5,8	19,1	14,2	1,5	14,9
1987	0	19	31	24	22	1	97	0,0	16,3	39,0	22,9	5,2	4,0	22,5
1988	0	15	2	19	25	3	64	0,0	4,4	2,0	11,8	18,6	1,7	12,0
1989	11	23	2	0	0	5	41	8,6	8,7	4,5	0,0	0,0	4,2	7,9
1990	9	15	0	4	3	4	35	10,8	13,6	0,0	6,5	1,7	8,3	10,4
1991	0	28	5	24	2	5	64	0,0	10,1	6,4	11,7	2,0	13,6	10,4
1992	5	26	16	16	5	1	69	2,2	13,1	6,6	11,9	5,6	1,0	9,8
1993	0	26	16	14	20	4	80	0,0	14,3	6,8	15,4	22,3	16,0	15,0
1994	16	12	18	17	1	0	64	6,9	8,3	3,2	3,8	2,0	0,0	5,2
1995	0	14	24	9	10	7	64	0,0	2,8	12,0	4,8	7,5	5,0	7,5
1996	15	28	23	29	28	10	133	4,9	9,5	7,4	9,4	16,6	7,4	9,9
1997	4	26	31	21	5	5	92	3,3	6,8	18,2	9,0	3,2	5,6	10,7
1998	11	11	10	10	16	0	58	5,9	3,7	8,0	10,8	5,8	0,0	6,7
1999	13	20	6	27	5	0	71	16,5	8,9	10,3	10,4	1,8	0,0	10,5
2000	12	15	31	13	9	0	80	7,0	3,2	12,3	3,6	5,3	0,0	7,6
2001	0	2	21	16	14	3	56	0,0	4,0	4,1	12,6	7,0	3,0	7,2
2002	7	31	24	0	6	1	69	8,7	18,5	22,0	0,0	9,8	2,0	17,7
2003	5	21	20	24	4	5	79	2,8	5,6	4,7	7,2	4,5	8,6	5,8
2004	0	22	31	24	20	0	97	0,0	3,6	11,7	11,3	18,9	0,0	11,2
2005	10	6	15	28	24	0	83	7,4	1,2	11,7	33,6	38,2	0,0	25,4
2006	13	31	31	28	31	2	136	16,6	21,7	33,7	40,0	36,4	6,5	30,8

Příloha 26: Výška a počet dní se sněhovou pokrývkou – Červená

(Zdroj: ČHMÚ)

Rok	S _m [den]						S _r [den]	S _m [cm]						S _r [cm]
	11	12	1	2	3	4		11	12	1	2	3	4	
1962	5	23	30	28	30	3	119	10,8	23,3	19,3	64,7	55,5	1,0	39,1
1963	14	31	31	28	31	7	142	16,4	36,2	76,2	115,8	71,0	26,4	65,8
1964	2	25	31	29	26	2	115	3,0	8,5	13,3	44,1	34,7	2,5	24,5
1965	3	31	31	28	26	1	120	3,3	19,8	90,6	134,1	126,0	2,0	87,2
1966	19	31	31	16	13	0	110	15,9	16,8	46,4	32,8	10,0	0,0	26,5
1967	21	26	31	28	20	6	132	29,7	53,3	121,2	78,1	24,5	6,5	64,3
1968	3	31	31	29	25	5	124	2,3	21,8	40,6	33,6	27,8	3,8	29,3
1969	3	17	31	28	31	5	115	4,0	7,6	19,0	44,0	33,7	13,6	26,7
1970	9	31	31	28	31	16	146	19,2	49,2	43,3	77,9	143,9	70,9	74,1
1971	5	28	30	21	27	0	111	4,0	12,7	29,9	16,4	36,7	0,0	23,5
1972	18	16	31	20	3	2	90	19,6	11,1	28,9	30,1	2,3	7,5	22,8
1973	11	14	21	28	24	8	106	5,5	2,6	8,2	41,9	68,7	13,8	30,2
1974	18	31	28	14	3	2	96	10,1	28,8	10,8	6,2	4,0	12,0	15,6
1975	7	23	17	27	15	4	93	11,0	18,7	3,6	13,8	9,5	5,8	11,9
1976	12	25	31	29	31	5	133	11,8	12,3	61,3	81,9	62,6	12,4	50,6
1977	15	23	31	26	9	12	116	16,3	8,2	43,1	29,1	14,2	14,5	24,4
1978	16	31	31	28	19	9	134	14,3	21,9	28,6	44,8	5,7	21,0	25,0
1979	4	31	31	28	27	8	129	33,8	32,3	22,9	53,3	34,1	8,9	33,6
1980	6	12	31	26	27	16	118	3,2	7,9	24,3	16,8	18,1	14,0	17,1
1981	20	24	30	28	15	2	119	10,6	12,3	49,9	55,8	31,9	1,5	34,0
1982	19	31	31	28	27	9	145	11,5	70,0	40,5	31,6	16,0	4,7	34,5
1983	2	17	25	28	16	1	89	1,5	25,8	14,5	45,2	21,3	5,0	27,1
1984	13	19	24	29	31	2	118	3,9	14,4	30,3	62,6	44,5	7,0	36,1
1985	8	15	31	28	31	3	116	10,3	13,3	36,9	50,4	47,1	5,3	37,2
1986	18	21	31	28	30	8	136	41,4	14,4	26,6	44,4	33,3	9,8	30,8
1987	1	19	31	28	31	11	121	3,0	25,5	78,0	70,5	63,5	18,0	58,3
1988	0	18	20	28	31	6	103	0,0	7,3	5,7	22,9	42,7	6,2	21,8
1989	23	31	31	22	2	4	113	7,0	24,2	11,8	6,8	2,5	1,8	12,7
1990	10	15	17	12	8	7	69	8,2	12,8	1,6	11,3	16,0	11,4	9,3
1991	4	31	13	28	9	5	90	2,3	14,6	6,8	15,4	4,2	16,6	12,2
1992	13	27	31	29	18	2	120	7,7	21,3	23,1	18,1	4,3	2,5	16,7
1993	10	26	26	28	24	5	119	3,2	21,5	13,7	15,4	30,5	19,8	18,6
1994	19	31	29	27	9	1	116	8,5	12,4	10,4	10,7	2,1	1,0	10,0
1995	0	19	31	19	26	6	101	0,0	4,8	21,0	10,5	8,7	8,3	12,0
1996	24	28	24	29	31	17	153	7,8	14,5	11,7	27,6	37,2	22,8	21,0
1997	7	31	31	26	11	10	116	5,4	13,7	27,1	24,2	5,2	4,6	17,5
1998	14	14	13	12	22	1	76	7,6	3,1	6,4	11,3	5,4	1,0	6,4
1999	13	31	31	28	13	0	116	3,4	8,7	7,3	31,5	10,1	0,0	13,4
2000	19	26	31	29	20	0	125	4,6	12,2	37,6	14,8	6,1	0,0	17,0
2001	0	16	30	17	17	2	82	0,0	5,1	18,4	14,6	7,6	2,5	12,4
2002	10	31	31	12	13	1	98	13,3	31,4	40,7	6,4	5,8	1,0	25,7
2003	10	23	31	28	24	8	124	5,5	7,5	12,5	25,6	11,2	8,1	13,4
2004	0	24	31	28	23	0	106	0,0	9,3	40,0	21,4	29,4	0,0	25,8
2005	12	12	24	28	26	1	103	6,7	3,1	20,3	40,1	48,7	5,0	29,1
2006	13	31	31	28	31	3	137	16,2	36,7	58,8	69,2	61,9	3,3	51,4

Příloha 27: Výška a počet dní se sněhovou pokrývkou – Praděd

Rok	S _m [den]						S _r [den]	S _m [cm]						S _r [cm]
	11	12	1	2	3	4		11	12	1	2	3	4	
1962	12	26	31	28	31	23	151	9,6	42,1	57,0	188,9	195,8	118,0	112,9
1963	20	31	31	28	31	14	155	26,8	82,9	142,6	184,0	148,7	110,4	121,5
1964	8	14	17	29	31	6	105	5,5	11,3	27,4	66,5	53,8	6,3	41,0
1965	12	31	31	28	31	30	163	24,2	30,0	101,1	187,5	208,0	103,9	117,6
1966	23	31	31	28	31	16	160	21,7	68,1	137,1	130,1	130,5	115,4	102,5
1967	21	31	31	28	31	30	172	40,3	111,9	211,5	198,1	199,8	130,5	154,2
1968	11	31	31	29	31	7	140	5,3	46,9	117,8	143,1	181,0	5,9	106,9
1969	11	15	31	28	31	26	142	4,5	16,7	38,4	86,4	106,5	94,3	68,0
1970	22	31	31	28	31	30	173	15,7	64,5	69,4	114,7	212,6	158,7	110,2
1971	18	31	31	28	31	11	150	12,2	36,5	68,0	104,5	171,8	30,9	80,4
1972	21	31	31	29	31	15	158	39,2	82,3	74,3	74,0	62,7	32,9	64,9
1973	19	31	13	28	31	30	152	41,2	35,4	23,4	97,8	172,7	80,5	83,5
1974	29	31	31	28	24	10	153	30,9	133,8	81,8	111,6	102,3	5,6	86,4
1975	30	31	31	28	31	29	180	70,4	114,3	148,2	169,4	119,9	106,3	121,1
1976	23	31	31	29	31	30	175	27,9	58,7	169,8	242,3	235,9	92,4	141,9
1977	17	31	31	28	31	29	167	35,6	80,1	135,2	181,9	147,4	72,3	114,0
1978	20	31	31	28	31	28	169	44,1	91,9	125,0	142,0	74,7	27,3	86,7
1979	4	31	31	28	31	30	155	38,8	54,1	138,0	184,5	159,1	81,0	120,2
1980	28	22	31	29	31	30	171	17,5	35,7	73,0	123,0	147,3	105,2	86,7
1981	23	31	31	28	24	14	151	12,4	28,8	107,5	143,0	78,6	8,3	69,6
1982	24	31	31	28	31	30	175	48,4	138,5	191,4	168,8	156,6	55,1	129,3
1983	8	27	31	28	31	25	150	2,5	30,1	117,2	178,8	157,9	69,2	107,3
1984	17	31	31	29	31	30	169	9,5	43,9	64,6	135,9	140,6	51,8	79,2
1985	12	24	31	28	31	29	155	17,2	17,1	59,7	100,9	83,1	28,3	56,1
1986	28	31	31	28	31	27	176	36,5	27,2	99,9	155,8	112,0	45,6	79,7
1987	16	23	31	28	31	30	159	6,1	56,0	195,8	177,2	180,1	109,9	134,0
1988	20	31	31	29	31	30	172	16,0	27,0	22,0	99,6	197,6	111,3	82,5
1989	30	31	31	28	31	17	168	31,4	116,9	114,4	78,6	60,6	17,0	74,3
1990	15	19	12	25	23	23	117	16,3	29,5	11,2	18,4	32,0	16,8	21,5
1991	21	31	31	28	25	21	157	5,3	54,2	52,9	66,7	29,1	24,4	41,7
1992	30	31	31	29	31	30	182	29,2	88,2	139,7	176,0	203,6	188,5	137,4
1993	25	31	31	28	31	26	172	28,8	44,7	40,2	68,9	144,9	101,2	72,1
1994	19	31	31	28	31	30	170	13,7	65,8	120,8	150,2	110,7	63,9	91,8
1995	10	29	31	28	31	30	159	6,2	15,0	94,7	119,7	137,4	133,0	94,6
1996	29	31	31	29	31	30	181	56,8	60,2	76,8	91,7	192,0	134,4	102,4
1997	18	31	31	28	31	30	169	7,6	21,1	31,5	45,1	44,6	63,6	37,4

(Zdroj: ČHMÚ)

Řada	n	Trend											
		Bělá pod Pradědem	Bohdanovice	Bruntál	Červená	Heřmanovice	Hrabyně	Jindřichov ve Slezsku	Karlovice	Krnov	Lichnov	Melč	Opava
H ₁₁	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H ₁₂	45	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H ₁	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H ₂	45	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H ₃	45	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H ₄	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H ₅	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	↓	-	-
H ₆	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	↓	-	-
H ₇	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H ₈	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H ₉	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H ₁₀	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H _r	45	↑	-	-	-	-	↓	-	-	↓	↓	-	↓
H _{chlad}	45	↑	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H _{tep}	45	-	-	-	-	-	-	↓	-	-	↓	-	-

Řada	n	Trend										
		Osoblaha	Praděd	Ramzová	Rejvíz	Rýmařov	Sudice	Světlá Hora	Třemešná	Vidly	Město Albrechtice - Žáry	Zlaté Hory
H ₁₁	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H ₁₂	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H ₁	45	↓	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	-
H ₂	45	-	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	-
H ₃	45	-	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	-
H ₄	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H ₅	45	-	↓	-	-	-	-	↓	-	↓	-	↓
H ₆	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H ₇	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H ₈	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H ₉	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H ₁₀	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H _r	45	↓	-	↑	-	-	-	↓	↓	-	↓	-
H _{chlad}	45	-	-	↑	-	-	-	-	-	-	-	-
H _{tep}	45	↓	↓	-	-	-	-	↓	-	-	-	-

Příloha 28: Měsíční, sezónní a roční trendy srážek na jednotlivých klimatologických a srážkoměrných stanicích

(Zdroj: ČHMÚ)